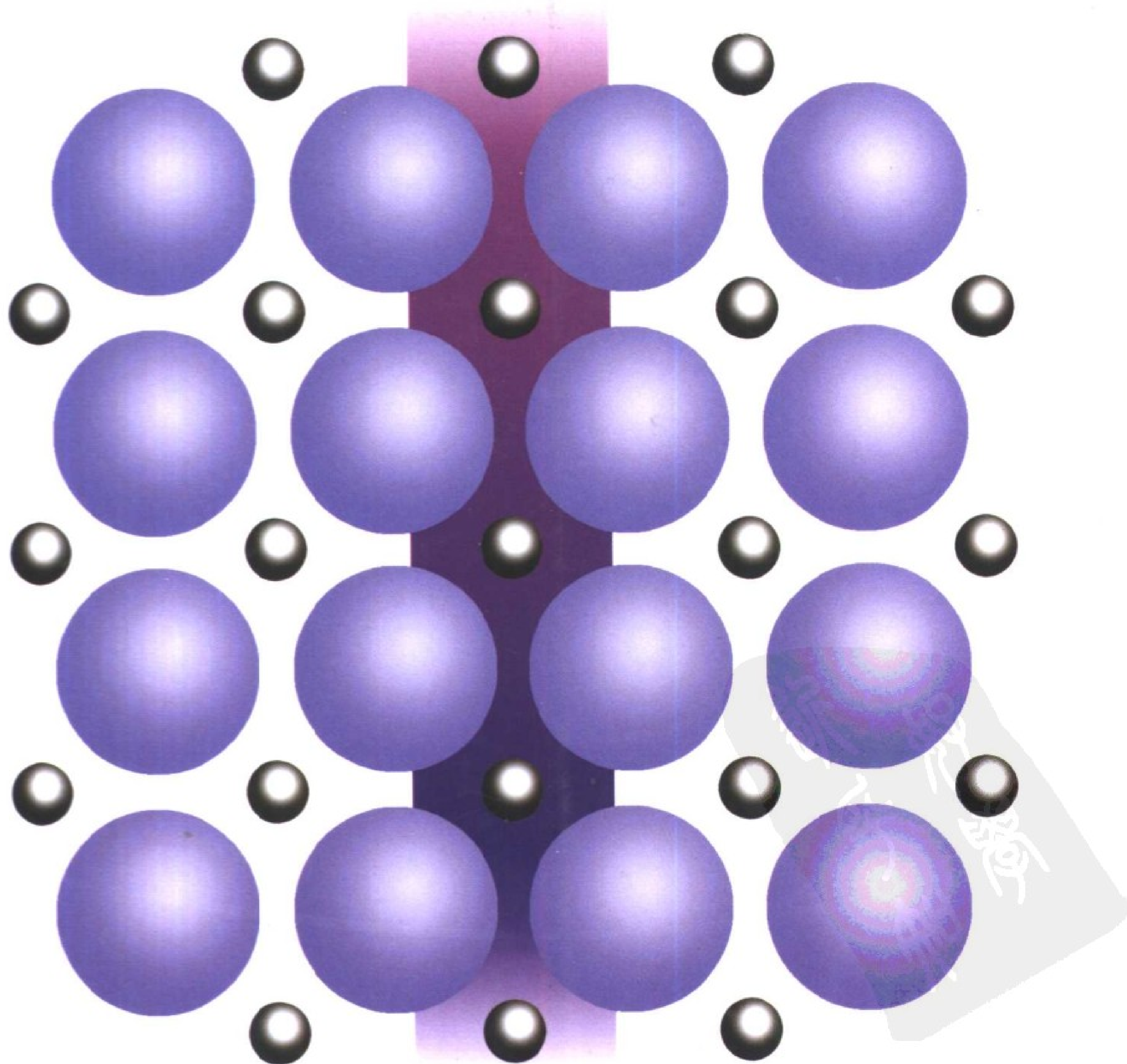


OHM 电子电气入门丛书

图解

电力应用

〔日〕 木村博司 粉川昌巳 著



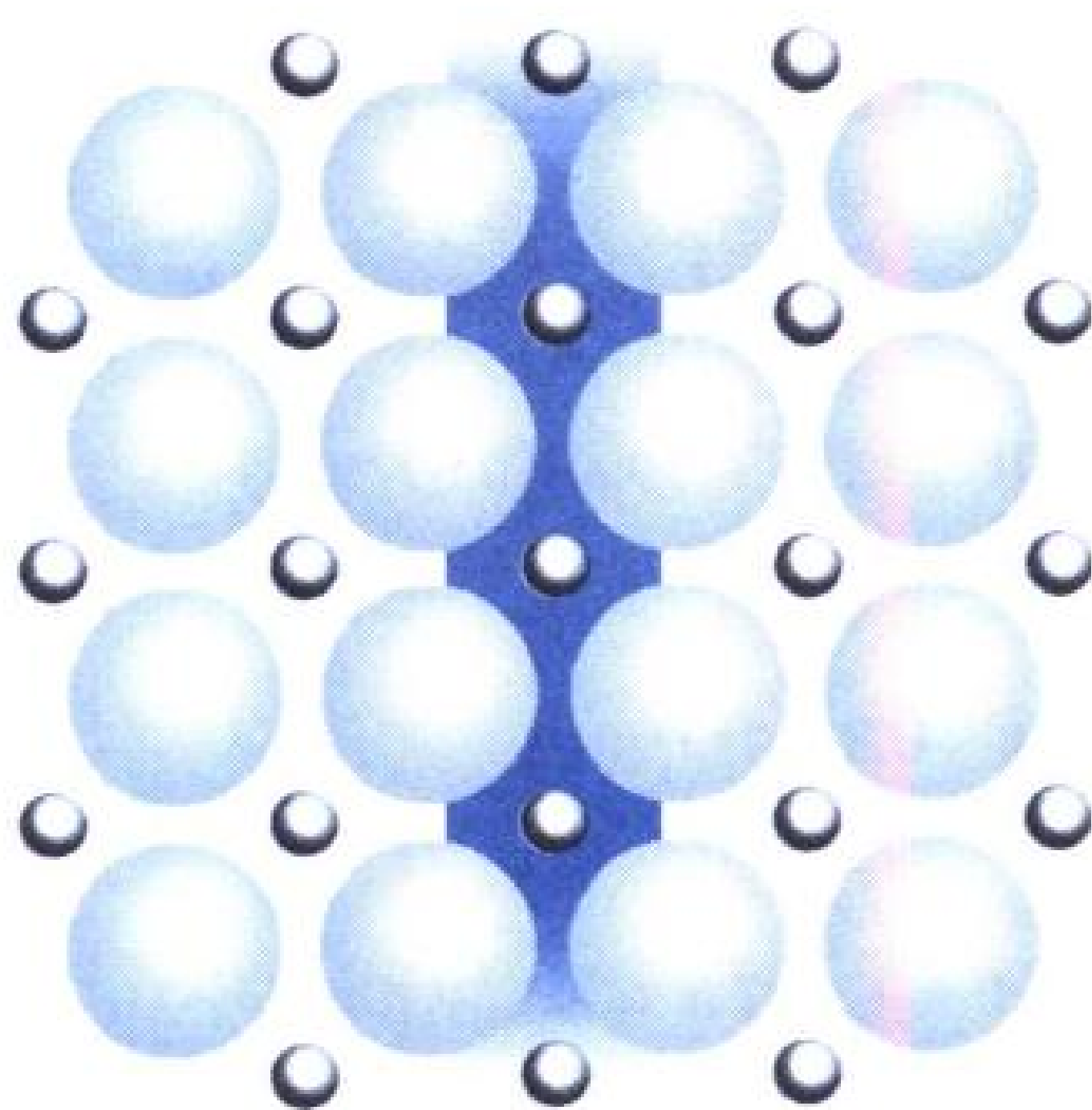
科学出版社

OHM社

OHM 电子电气入门丛书

图解 电力应用

〔日〕木村博司 粉川昌巳 著
程君实 译 李福寿 校



科学出版社 OHM 社

2001. 北京

内 容 简 介

本套丛书系引进欧姆社版权翻译出版的中文版图书。基本涵盖了有关电子电气方面的全部知识。内容简洁，重点突出，同时配以大量插图帮助讲解，具有较高的参考阅读价值。

本书共分6章。主要章节为：照明、电热、自动控制、电化学、电气铁道及各种电气应用。

本书实用性强，可作为大、中专学生的参考书或教材，也适用于函授或自学，对于从事电力应用方面的技术人员及大、中专学校的教师有较高的参考价值。

作者简历

木村博司

1955年 日本大学工学部电气工学科毕业
原福岛县立福岛工业高等学校
教师

粉川昌巳

1979年 日本大学理工学部电气工学科
毕业
现在 东京都立藏前工业高等学校电
气科教师

译、校者简历

程君实

1961年 上海交通大学运输起重机械制
造系毕业
现在 上海交通大学信息存储研究中
心教授

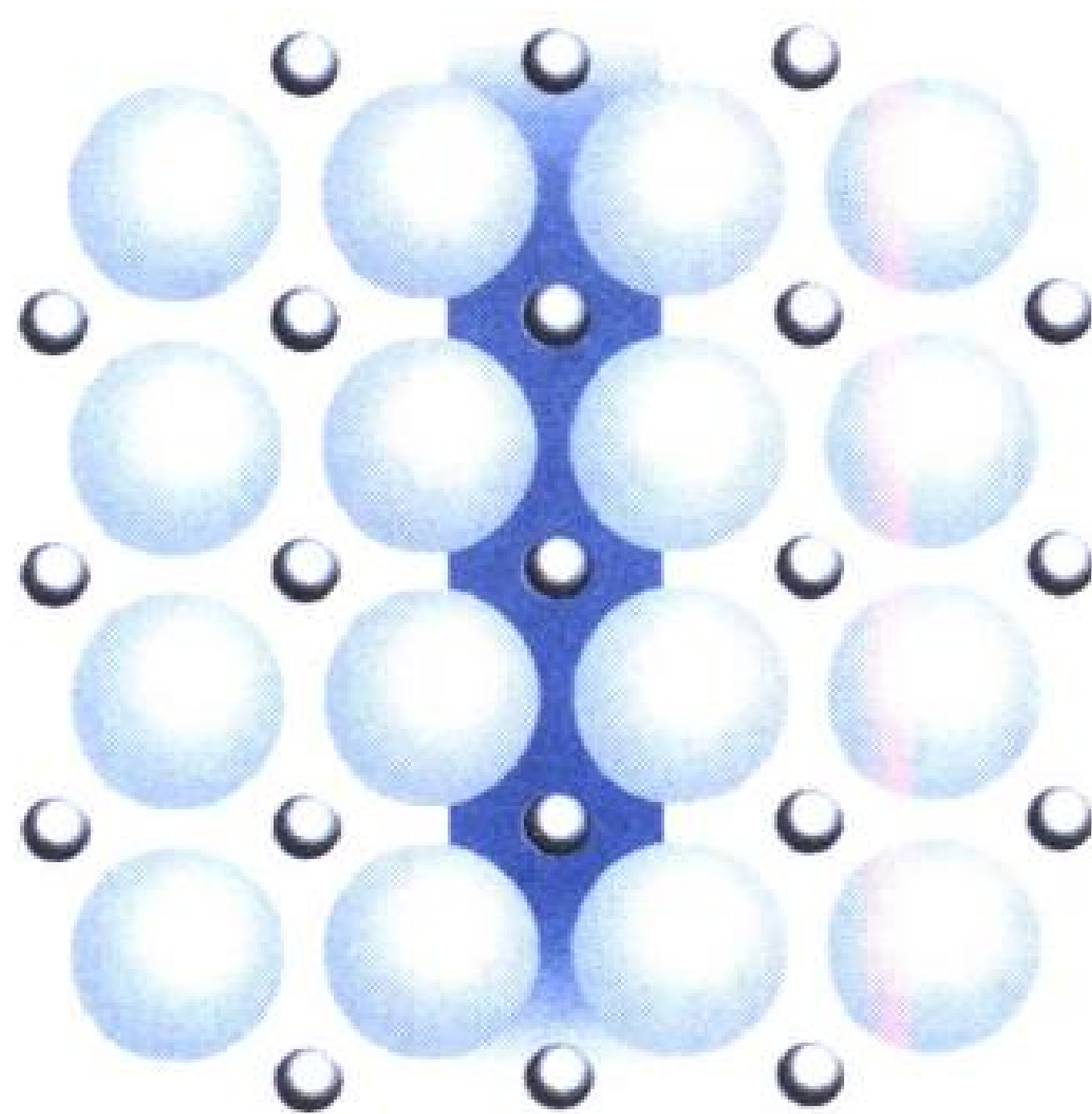
李福寿

1956年 哈尔滨工业大学电机系毕业
现在 上海交通大学电力学院电气工
程系教授

OHM 电子电气入门丛书

图解 电力应用

〔日〕木村博司 粉川昌巳 著
程君实 译 李福寿 校



科学出版社 OHM 社

2001. 北京

图字: 01 - 1999 - 2924 号

Original Japanese edition

Etoki Denryoku Ouyou

by Hiroshi Kimura and Masami Kogawa

Copyright © 1992 by Hiroshi Kimura and Masami Kogawa

published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese language edition is co-published by Ohmsha, Ltd. and Science Press.

Copyright © 1999

All rights reserved.

本书中文版版权为科学出版社和 OHM 社所共有

絵とき 電力応用

木村博司 粉川昌巳 オーム社 1998 第1版第2刷

图书在版编目(CIP)数据

图解电力应用/(日)木村博司.(日)粉川昌巳著;

程君实译. - 北京:科学出版社,2000.1

ISBN 7-03-008096-3

I. 图… II. ①木… ②粉… ③程… III. 电能-应用-图解 IV. TM92-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 69710 号

科学出版社 OHM 社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京东方科龙电脑图文制作有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2000 年 1 月第 一 版 开本: 850 × 1168 1/32

2001 年 10 月第二次印刷 印张: 6 3/8

印数: 5 001 - 8 000 字数: 167 000

定 价: 19.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换 <新欣>)

前 言

现在,由于有了电,我们的生活变得非常方便。电除了用于产业界,还用于医学、家电产品等许多领域。

本书介绍电的应用范畴中有关电力的应用,即从我们身边的应用项目开始,到交通、产业方面的应用。从它的基础知识到应用举例,本书都进行了通俗易懂的说明。另外,对于因材料、电子学及计算机技术等的发展而产生的新的应用技术,本书也特别注意尽可能简洁地加以介绍。

按照上述的考虑方法,本书由下面 6 章构成

- I. 照明 从照明基础开始,到照明设计。
- II. 电热 从热的计算开始,到各种电热方式及电焊。
- III. 自动控制 从各种自动控制开始,到反馈控制、顺序控制及计算机控制。
- IV. 电化学 从电化学基础开始,到各种电池及电解化学。
- V. 电气铁道 从铁道的发展及各种铁道车辆开始,到座位预约系统。
- VI. 各种电气应用 从超声波及静电现象的应用开始,到热泵原理及其应用。

以上各章都以通俗易懂的表现形式加以叙述,并大量采用附图及照片,以便通过视觉帮助理解,使得想要学习电力应用的读者尽可能地只要看图就能掌握要点。笔者认为,本书不仅是作为电力应用的学习参考书及教材,而且对于从事电力及电气有关领域工作的读者,也能够作为基础性的入门书而发挥有效的作用。期望本书能够使读者对这一领域产生兴趣,并能大大增强自己的实力。

最后，对在本书执笔过程中给予指导及协助的欧姆社(OHMSHA)的各位表示衷心的感谢。

木村博司 粉川昌巳

目 录

I 照 明

1.1	辐射与光的发生	10
1.2	照明基础	13
1.3	白炽灯	19
	白炽灯泡的构造/白炽灯的特性/白炽灯的种类	
1.4	放电灯	25
	荧光灯/荧光灯的点灯电路/高压汞灯	
1.5	照明设计	30
	照明设计基础/照明设计实际举例	
1.6	照明实例	35
	办公室照明/工厂照明/住宅照明/其它照明/辐射的应用	

II 电 热

2.1	电热计算	42
	热回路/热量	
2.2	电阻加热	46
	电阻加热的原理/电炉/家电产品中的应用	
2.3	电弧加热	50
	电弧加热的原理/电弧炉	
2.4	感应加热	53
	感应加热的原理/感应炉/高频淬火/家电产品中的应用	
2.5	电介质加热	58
	电介质加热的原理/电介质加热的种类/ISM 频率/电介质加热的应用(木材的粘贴及干燥)	

2.6	其它加热方式	62
	红外线加热/电子束加热/激光加热	
2.7	电 焊	68
	焊接的原理/电阻焊/电弧焊/其它的焊接	

III 自动控制

3.1	各种自动控制	74
	反馈控制/反馈控制的分类/顺序控制/ 计算机控制	
3.2	传递函数及框图	78
	传递函数/传递函数的求法/框图	
3.3	反馈控制系统的特性	82
	响应/阶跃响应/频率响应/频率特性/ 稳定性判别	
3.4	继电器顺序控制	86
	继电器顺序控制/逻辑电路/逻辑式的 基本定律	
3.5	利用卡诺图简化逻辑式	89
	2变量/3变量/4变量	
3.6	顺序控制电路的设计	92
	设计条件/设计1(灯泡点灯)/设计2(自 锁电路:关灯优先)/设计3(自锁电路:点灯 优先)/设计4(互锁电路)	
3.7	无触点顺序控制	96
	无触点顺序控制/自锁电路(关灯优先)/ 自锁电路(点灯优先)/互锁电路	
3.8	顺序控制举例	100
	感应电动机的Y- Δ 启动/电动机的正反 转控制/液面控制	
3.9	计算机控制用零部件及装置	103
	步进电动机/直流伺服电动机/图像识别 装置/光电传感器	
3.10	计算机控制(1)	108

步进电动机的控制/直流伺服电动机的控制

3.11 计算机控制(2) 112

机器人的控制/电子交换机的控制

IV 电化学

4.1 电化学的基础 118

氧化与还原/电离趋势/伏打电池

4.2 一次电池(原电池) 121

一次电池/锰干电池/碱性锰干电池/
氧化银电池/汞电池/空气电池/锂电池

4.3 二次电池(蓄电池) 127

二次电池/放电率及容量/铅蓄电池/
碱性蓄电池

4.4 燃料电池及太阳能电池 130

燃料电池/太阳能电池

4.5 电解化学 133

电解化学/水溶液的电解/金属的电解精
炼/熔盐电解

4.6 电镀、电铸及电解研磨 138

电镀/电铸/电解研磨

4.7 电热化学 141

电热化学/碳化硅的制造/石墨的制造/
碳化钙的制造

V 电气铁道

5.1 日本铁道的进展 144

5.2 铁道线路及车辆 146

轨道/铁道车辆

5.3 供电方式及电车线 152

电气铁道的种类/电气线路/电车线

5.4 电力机车 157

直流电力机车/直流电力机车的调速方式/
交流电力机车/交直流两用电力机车/

电力机车的控制/制动装置	
5.5 信号与安全	167
铁道信号/自动信号装置/安全装置	
5.6 新干线铁道	173
新干线铁道的特征/新干线的电车/交流 馈电系统的构成/新干线的 ATC 及 CTC	
5.7 特殊铁道	180
5.8 座位预约系统	183
 VI 各种电气应用	
6.1 超声波的产生及其应用	186
超声波/超声波的产生/作为动力的应 用/测量方面的应用	
6.2 静电现象的应用	191
静电/静电除尘器/静电喷涂/静电分 选/静电记录	
6.3 热 泵	196
热泵/热泵的应用	
 参考文献	 201

I

照 明

作为电力应用之一的照明大致可分为下列两种:

- (1) 利用热辐射的光源
- (2) 利用放电的光源

第一种利用热辐射的光源是白炽灯。是将电能变换为热能,再由高温的钨制灯丝发光。这种白炽灯是由爱迪生(Thomas A. Edison, 1847—1931, 美国)于 1879 年发明的。

第二种利用放电的光源有 ①荧光灯、②高压汞灯、③霓虹灯等。荧光灯是将低压水银蒸气中放电时发出的紫外线照射到荧光物质上而发光的光源;高压汞灯是将高压水银蒸气中放电时发出的光作为光源;霓虹灯是将在惰性气体中加上高电压时而发出的光作为光源。

在本章中,利用插图对于作为照明基础的各种单位进行通俗易懂的说明。对于出现的不熟悉的单位,努力通过例题以便让读者能够理解,希望读者多阅读几遍。然后,再进一步对我们身边的室内照明尝试进行实际设计,相信通过这种设计,能够理解与电气工程有关的内容。

1.1

辐射与光的发生

火原来是自然界的東西，后来人类自己学会制造火。人类与火一起经历了漫长岁月，并逐步使火服务于人类(参见图 1.1)。

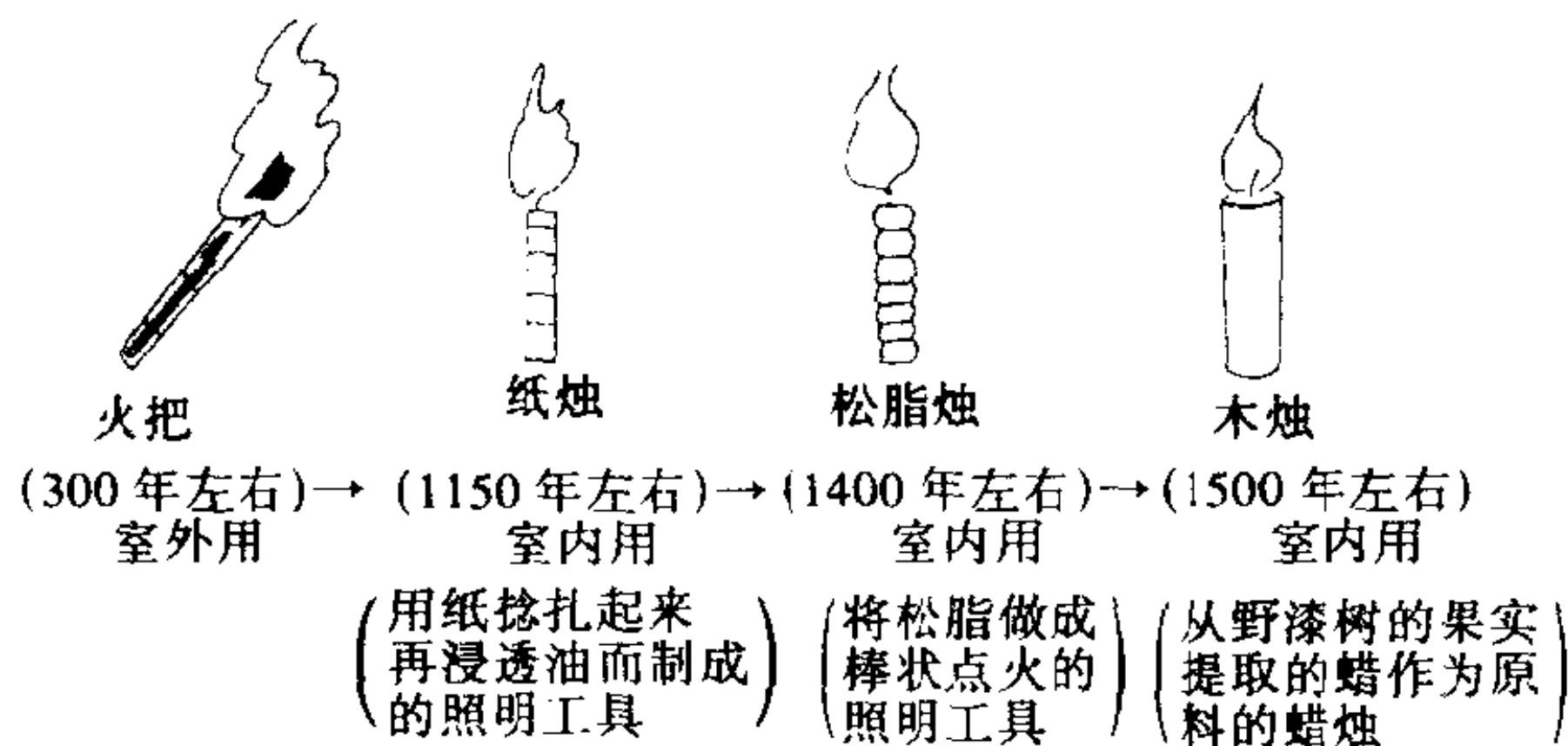


图 1.1 利用热辐射的光源例

在美国，爱迪生于 1879 年发明了碳制电灯泡(参见图 1.2)。

荧光灯是在 1938 年由美国通用电气公司 (GE) 英曼 (Inman) 等人的研究组开发的(参见图 1.3)。

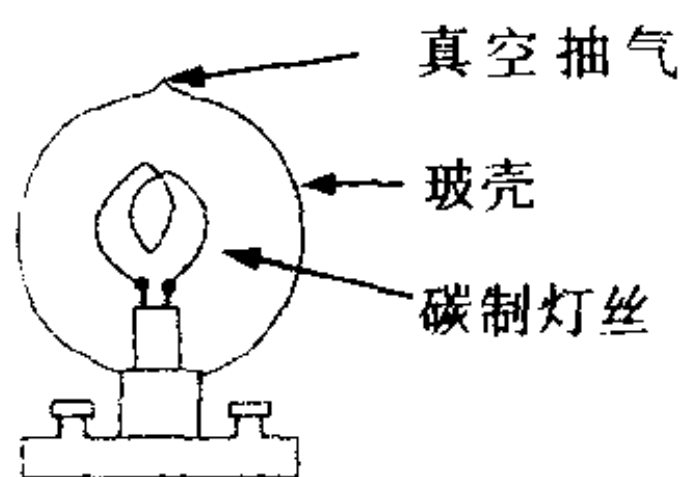


图 1.2 碳制电灯泡

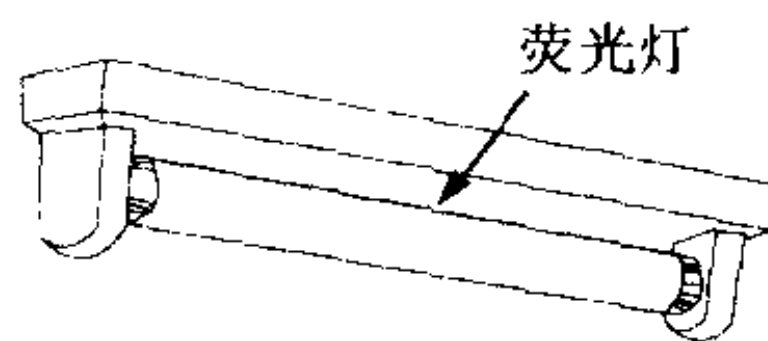


图 1.3 利用放电的光源

(a) 辐射与光

所谓辐射是将能量作为电磁波向空间发射的一种现象(参见图 1.4)。

电磁波用于通信及广播电视等方面的有长波、中波、短波、微波及毫米波，电磁波还包括红外线、紫外线、X 射线及 γ 射线等，用于各个方面。在电磁波中，波长为 380 ~ 760nm 范围的辐射，在进入人的眼睛时会使人感到有光线的明亮(参见图 1.5)。

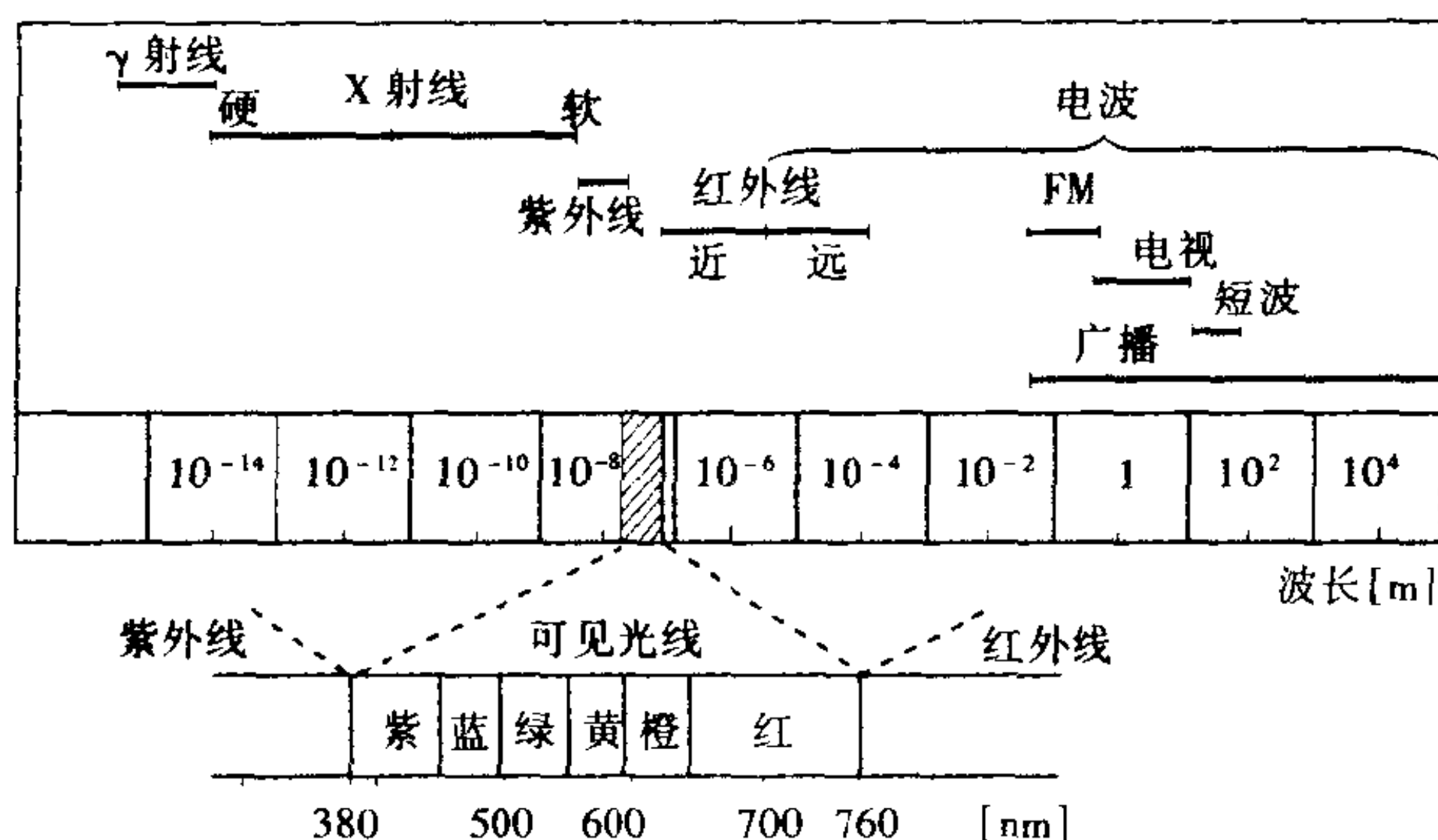


图 1.4 辐射光谱与颜色

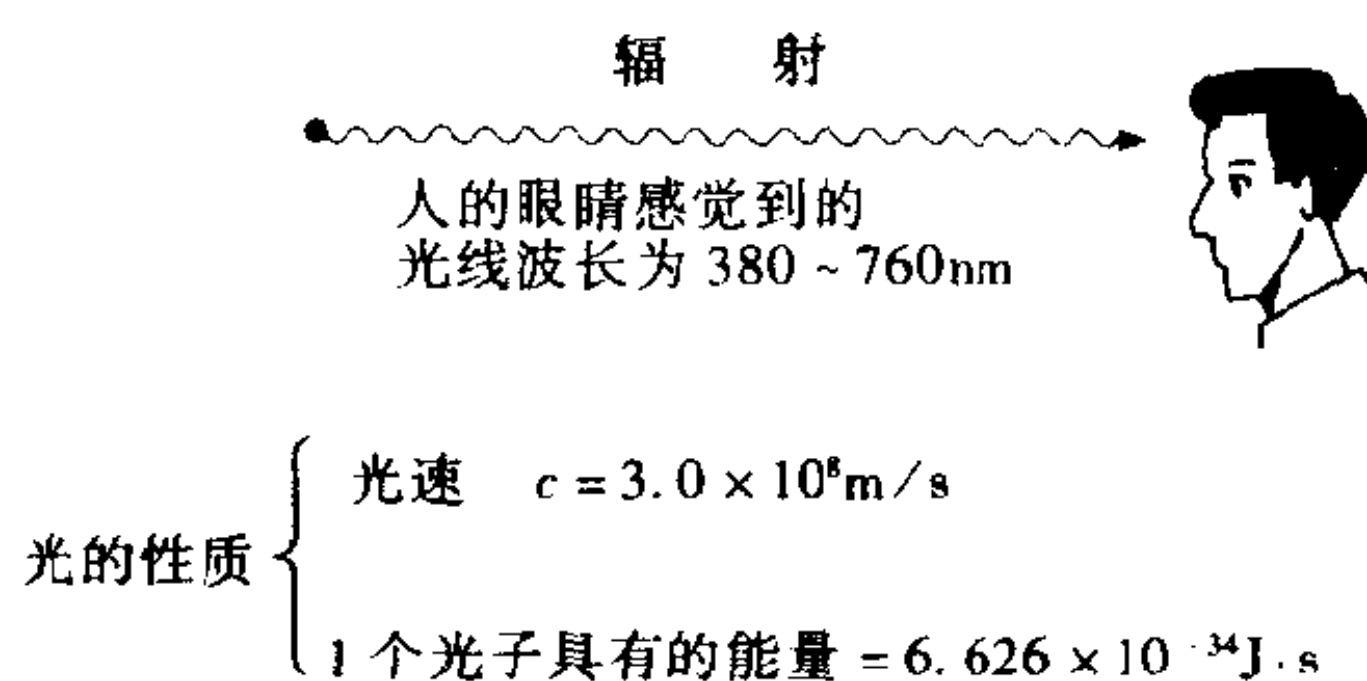


图 1.5 辐射与光

(b) 光的性质

光具有波动性及粒子性双重性质。

① 波动性: 将光作为电磁波研究时, 具有下面的性质

$$c = \lambda f \quad (1.1)$$

式中, $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ (真空中的速度), $\lambda = \text{波长 [m]}$, $f = \text{频率 [Hz]}$ 。

当光通过介质中时, 频率不变, 但速度及波长改变。

② 光不是连续的波, 可以看成是不连续的粒子。

这种粒子叫做光子或光量子。频率为 $f \text{ [Hz]}$ 的一个光子具有的能量为

$$E = hf \quad (1.2)$$

式中, $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, 是普朗克常量。

将上述内容加以归纳, 则有

- i 光具有直线前进的性能。
- ii 碰到密度不同的物质要产生反射、折射及衍射等。
- iii 在空气中或真空中传播的速度约为 $3.0 \times 10^8 \text{m/s}$ 。
- iv 在光线中，频率比较高的部分（接近紫外线），光电作用强。

1.2

照明基础

入射光通量、发散光通量及发光强度的确定方法参见图 1.6。

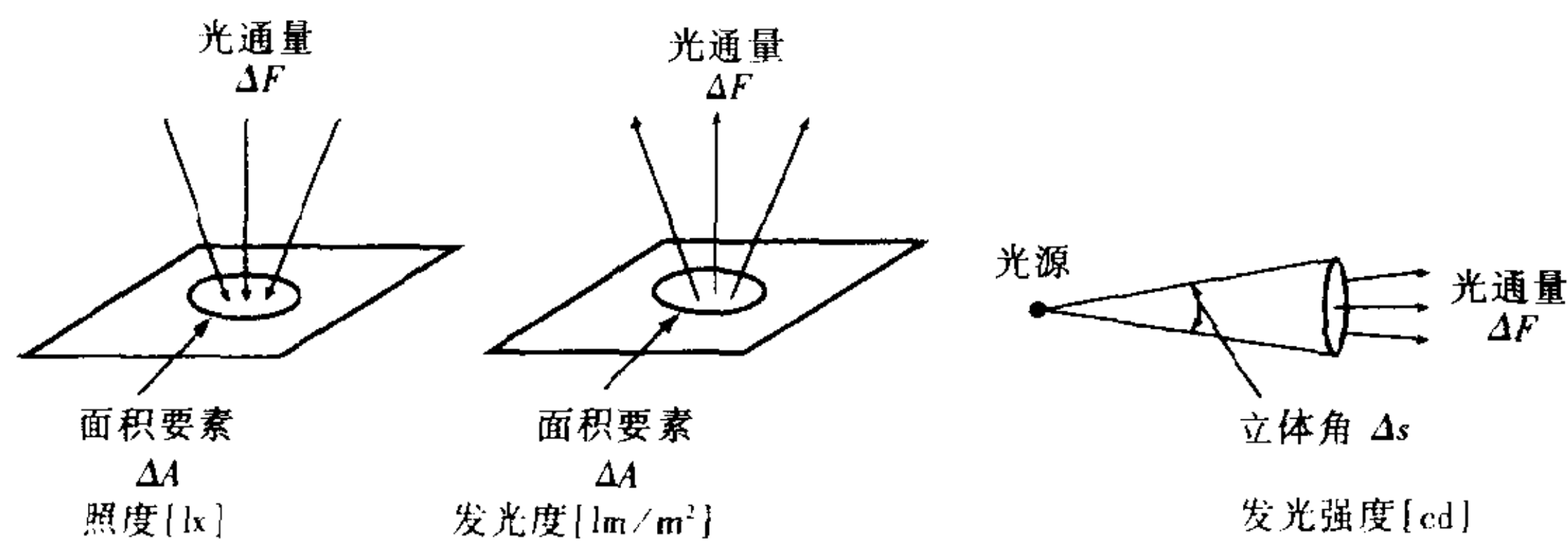


图 1.6 光量测量的说明图

(a) 可视辐射及能量

当辐射能量进入人的眼睛得到明亮程度的光的感受时,这种辐射叫做可视辐射。波长范围为 380 ~ 760nm, 如 1.1(a)所述。

表 1.1 照明使用的基础单位及读法

No.	用 语	符号	单 位	单位读法	备 注
1	辐射通量	Φ	[W]	瓦 特	
2	光通量	F	[lm]	流 明	
3	发光强度	I	[cd]	坎德拉	
4	照 度	E	[lx]	勒克斯	
5	光亮度	B	[cd/m ²]	坎德拉每平方米	
6	发光度	M	[lm/m ²]	流明每平方米	
7	立体角	ω	[sr]	球面角度	
8	光的波长	λ	[nm]	纳 米	1nm = 10 ⁻⁹ m
9	光的波长	λ	[μm]	微 米	1μm = 10 ⁻⁶ m
10	压 力	Pa	[Pa]	帕斯卡	1Pa = 7.502 × 10 ⁻³ mmHg
11	压 力	$Torr$	{Torr} [mmHg]	托	1Torr = 1.333 × 10 ² Pa 1mmHg ≈ 1.333 × 10 ² Pa

(b) 光通量[lm]

测光的基本单位用[lm]表示。辐射通量是单位时间内通过某一面的能量,用 $\Phi[\text{J/s}] = [\text{W}]$ 表示。该辐射通量与人的眼睛无关,但光通量是表示根据人的眼睛确认的光(参见图 1.7)。

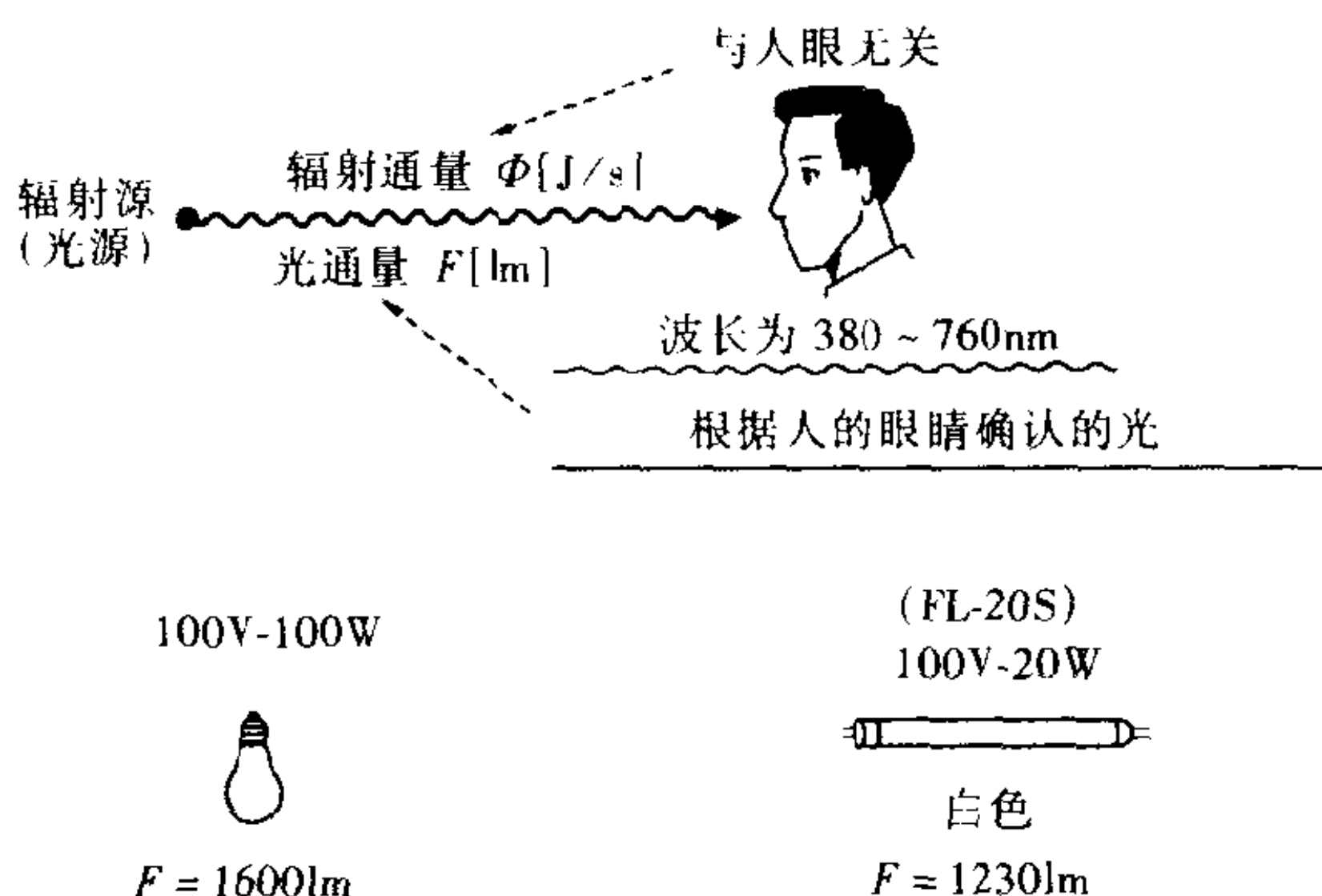


图 1.7 辐射通量及光通量

(c) 视觉灵敏度[lm/W]

设某一波长 λ 的辐射通量为 Φ , 该波长的光通量为 $F[\text{lm}]$, 则有下列的关系

$$\text{视觉灵敏度} [\text{lm/W}] = \frac{F[\text{lm}]}{\Phi[\text{W}]} \quad (1.3)$$

视觉灵敏度是表示波长 λ 的能量作为光能够感觉到多大的亮度。视觉灵敏度在波长为 555nm(相当于频率为 $540 \times 10^{12}\text{Hz}$)时为最大,是 683lm/W。将这叫做最大视觉灵敏度。

(d) 相对视觉灵敏度与相对视觉灵敏度曲线

明亮的感觉因波长而异。将某一波长的视觉灵敏度与最大视觉灵敏度(683lm/W)之比的值叫做相对视觉灵敏度(V_λ),表示为

$$\frac{\text{某一波长的视觉灵敏度} [\text{lm/W}]}{683 [\text{lm/W}]} \times 100 [\%] \quad (1.4)$$

图 1.8 为各波长 λ 的相对视觉灵敏度的曲线图。

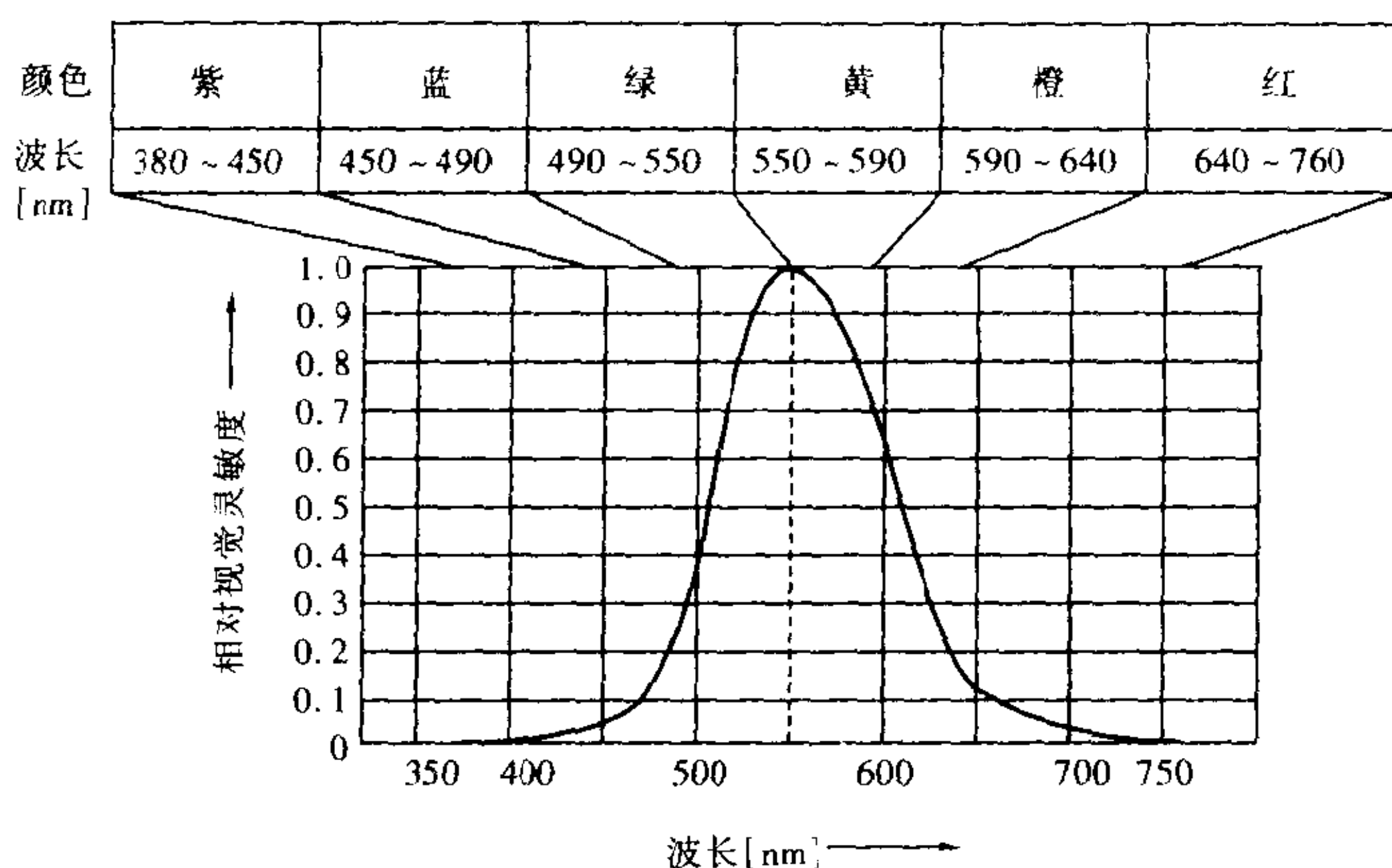


图 1.8 标准相对视觉灵敏度曲线

(e) 发光度 [lm/m²]

将从某一面上发出的全光通量 $F[\text{lm}]$ 用该发散面的面积 $A[\text{m}^2]$ 除而得到的值叫做发光度(参见图 1.9)。

$$\text{发光度 } M[\text{lm}/\text{m}^2] = \frac{F[\text{lm}]}{A[\text{m}^2]}$$

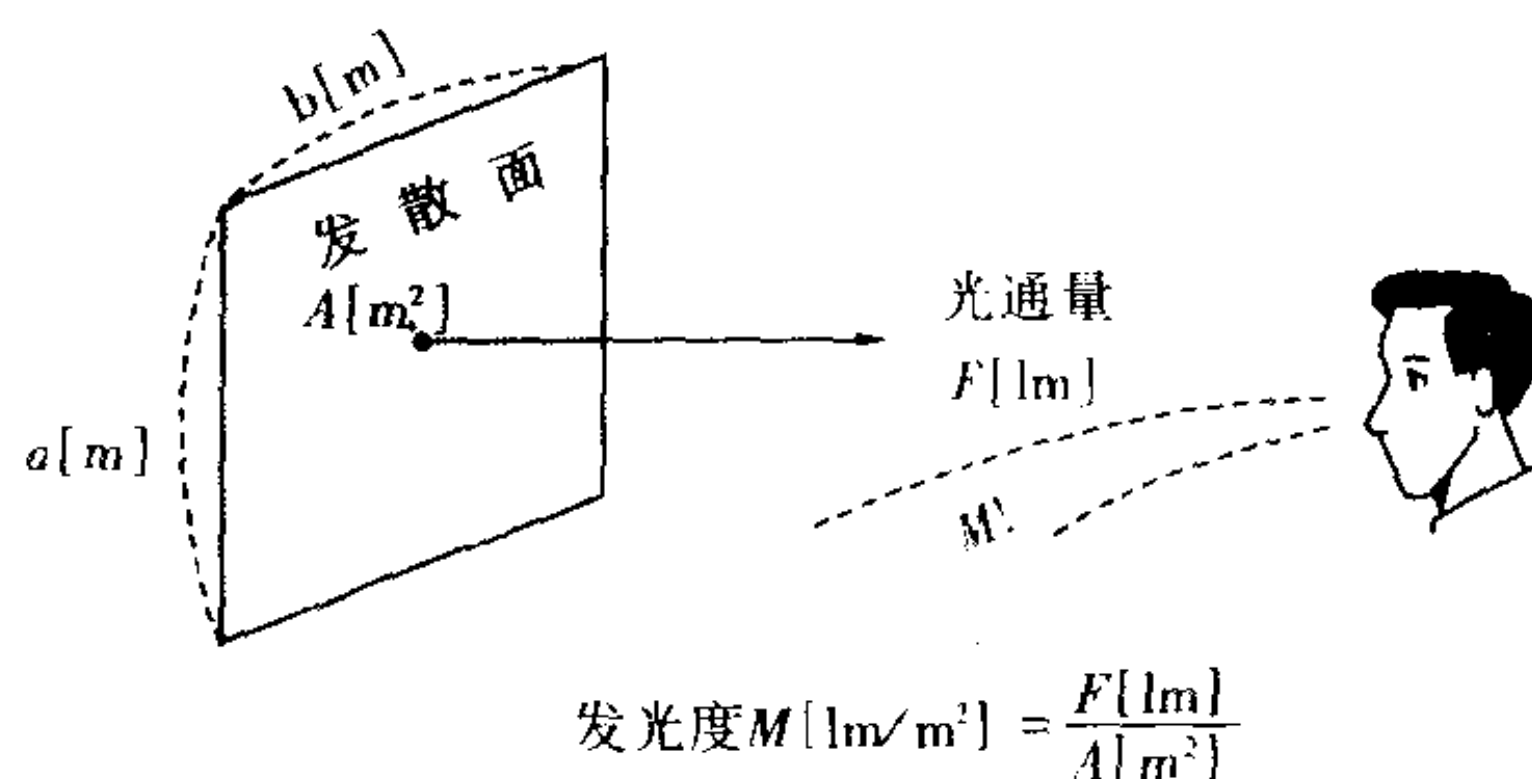


图 1.9 发光度

(f) 发光强度 [cd]

从光源射出, 通过某一方向的微小立体角内的光通量用该微小立体角除而得到的值叫做发光强度, 即单位立体角的光通量叫做发光强度, 表示为

$$\text{发光强度 } I[\text{cd}] = \frac{\Delta F[\text{lm}]}{\Delta[\text{sr}]} \quad (1.6)$$

为了求出从点光源射出的全光通量,用球包围点光源,如图 1.10 所示。由于整个球面的立体角为 $4\pi[\text{sr}]$,因此

$$I = \frac{F}{4\pi} \quad (1.7)$$

式中, F 为包围点光源的半径为 $r[\text{m}]$ 的整个球面的全光通量。所以

$$F = 4\pi I[\text{lm}] \quad (1.8)$$

这样能够求出全光通量。

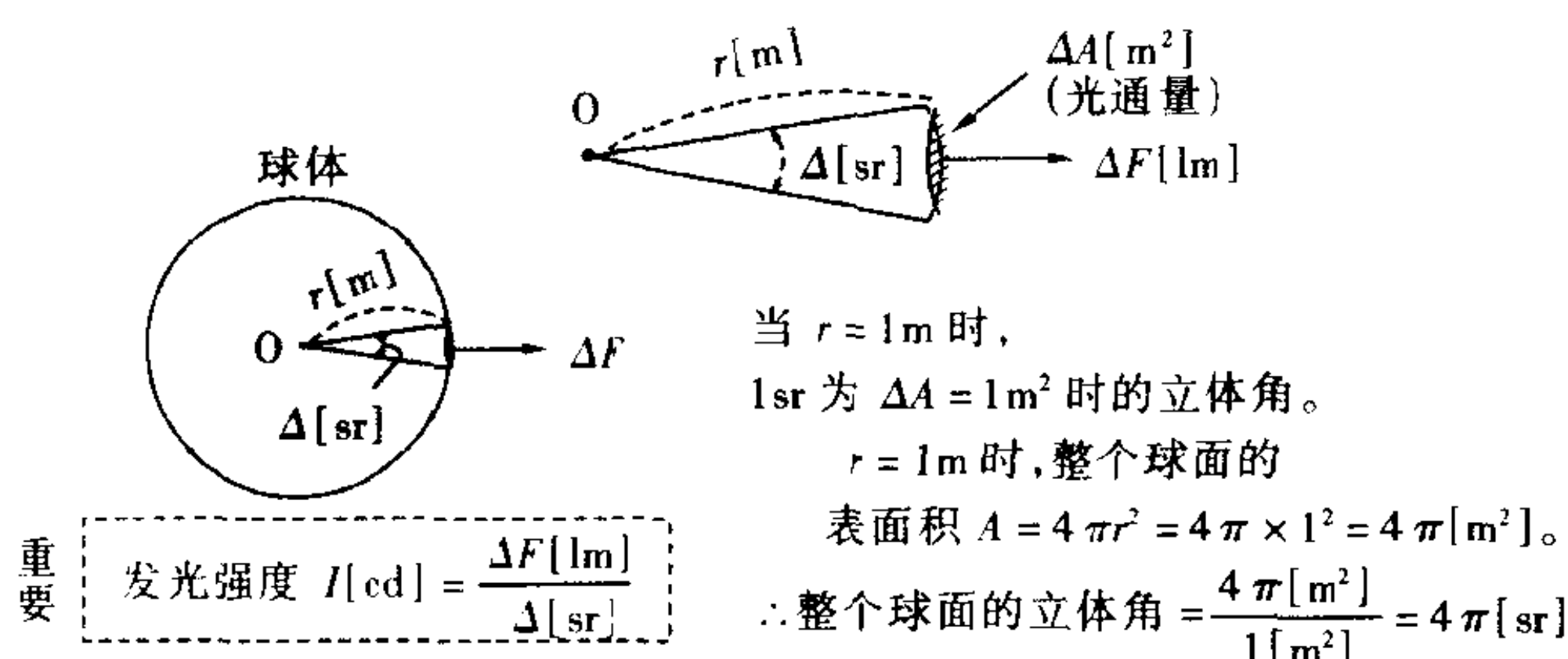


图 1.10 发光强度与全立体角[sr]的说明

(g) 照度 [lx]

将入射至某被照面 $A[\text{m}^2]$ 的光通量 $F[\text{lm}]$ 用该被照面的面积 $A[\text{m}^2]$ 除而得到的值叫做该被照面的照度 (E), 表示为

$$E[\text{lx}] = \frac{F[\text{lm}]}{A[\text{m}^2]} \quad (1.9)$$

另外, 如果知道光源的发光强度 $I[\text{cd}]$ 及从光源到被照面的距离 $r[\text{m}]$, 则根据下式能够求出照度 (参见图 1.11)

$$E[\text{lx}] = \frac{I}{r^2} \quad (1.10)$$

(h) 光亮度 [cd/m^2]

一看到发光强度大的点光源, 就感到刺眼。另外, 即使是相同发光强度, 但用大的乳白色玻璃灯泡罩住的光源, 就不感到刺眼。因此, 光亮度用下式表示 (式中 S' 为视在面积)。

光亮度定义如下

$$B[\text{cd}/\text{m}^2] = \frac{I[\text{cd}]}{S'[\text{m}^2]} \quad (1.11)$$

即 B 越大,越强烈感到刺眼(参见图 1.12)。

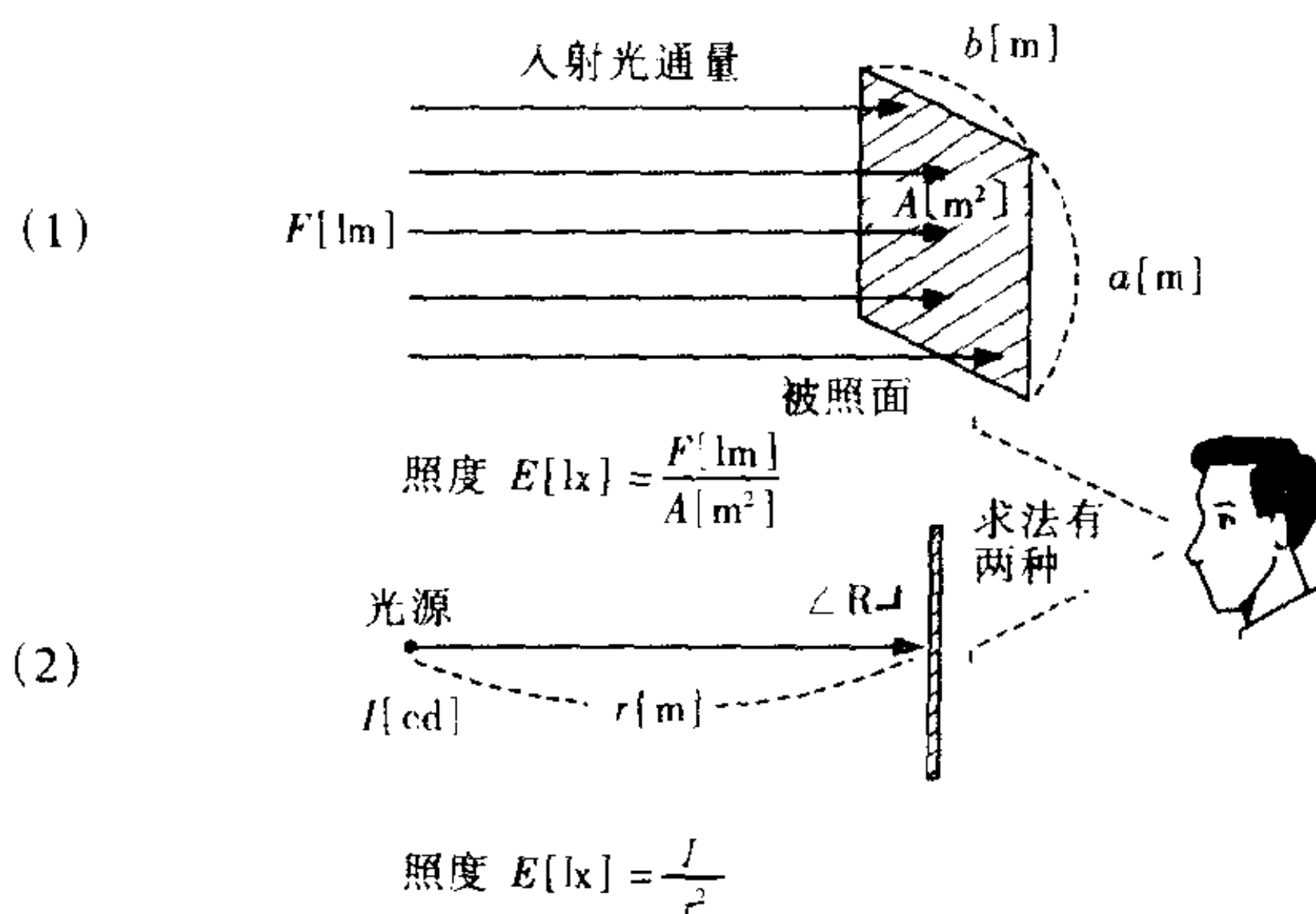
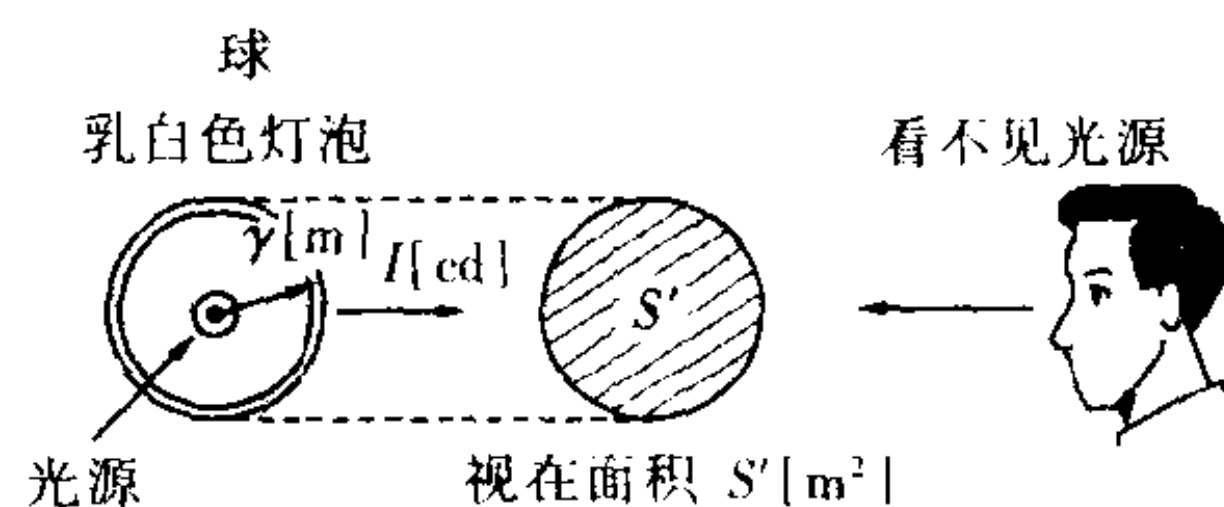


图 1.11 照度 E 的求法



$$\text{光亮度 } B = \frac{I[\text{cd}]}{S'[\text{m}^2]} \begin{cases} B \text{ 大则刺眼} \\ B \text{ 小则较好} \end{cases}$$

图 1.12 光亮度的说明

例题 1 波长 λ 为 525nm 的相对视觉灵敏度为 80%。该波长的视觉灵敏度为多少?

解: 相对视觉灵敏度为

$$V_\lambda = \frac{\text{某}\lambda\text{的视觉灵敏度}}{683}, V_\lambda = 0.8$$

$$\therefore \text{某}\lambda\text{的视觉灵敏度} = 0.8 \times 683 = 546.4$$

答: 546.4 [lm/W]

例题 2 从立体角 0.15sr 的球面射出的光通量为 225lm, 求该光源的发光强度。

解: $I = \frac{\Delta F[\text{lm}]}{\Delta[\text{sr}]} = \frac{225}{0.15} = 1500[\text{cd}]$

答: $I = 1500 [\text{cd}]$

例题 3 点光源的某一方向的发光强度为 125cd, 从该点光源射出的全光通量为多少?

解: 根据式(1.8), 整个球面的光通量为

$$F = 4\pi I = 4\pi \times 125 = 1571[\text{lm}]$$

答: 全光通量 = 1571[lm]

例题 4 当 150lm 的光通量垂直照射到长 40cm、宽 55cm 的被照面上时, 该被照面的照度为多少?

解: 根据式(1.9), 照度 E 为

$$E = \frac{F[\text{lm}]}{A[\text{m}^2]} = \frac{150}{0.55 \times 0.4} = 682 [\text{lx}]$$

答: $E = 682 [\text{lx}]$

例题 5 有一个半径为 15cm 的球罩, 当某一方向的发光强度为 54cd 时, 求该光源的光亮度。

解: 根据图 1.12, 有

$$\text{视在面积 } S' = \pi r^2 = \pi \times 0.15^2 = 0.071[\text{m}^2]$$

$$\therefore \text{光亮度 } B = \frac{I[\text{cd}]}{S'[\text{m}^2]} = \frac{54}{0.071} = 760.6[\text{cd}/\text{m}^2]$$

答: 光亮度 = 760.6[cd/m²]

例题 6 当从某一方向的发光强度为 1200cd 的光源垂直照射距离 1.5m 的被照面时, 该被照面的照度为多少?

解: 根据式(1.10), 照度 E 为

$$E = \frac{I}{r^2} = \frac{1200}{1.5^2} = 533.3[\text{lx}]$$

答: 照度 = 533.3[lx]

1.3 白炽灯

- 爱迪生碳丝灯泡

爱迪生于 1879 年完成了实用的碳丝灯泡(参见图 1.13)。

- 钨丝灯泡(参见图 1.14)

① 1910 年开发了钨丝灯泡(美国)。

② 1913 年开发了充气灯泡(美国)。

③ 1920 年开发了双螺旋灯丝(日本三浦顺一)。

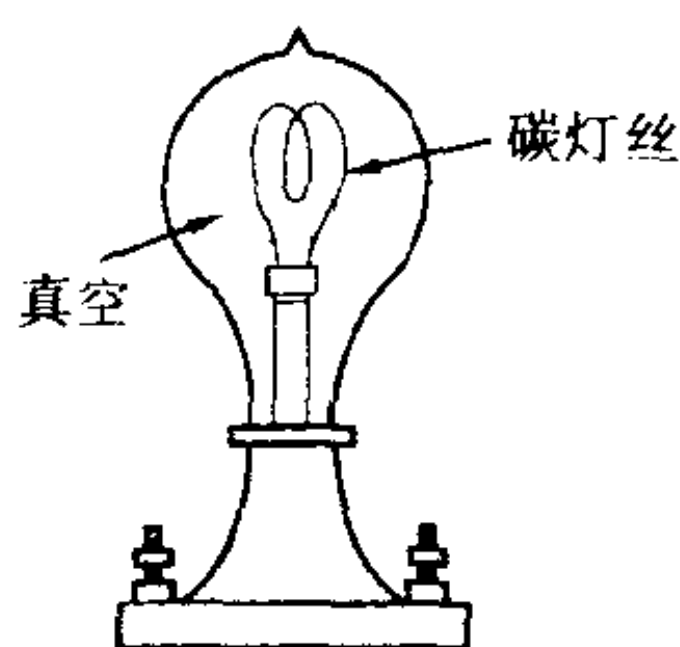


图 1.13 爱迪生碳丝灯泡

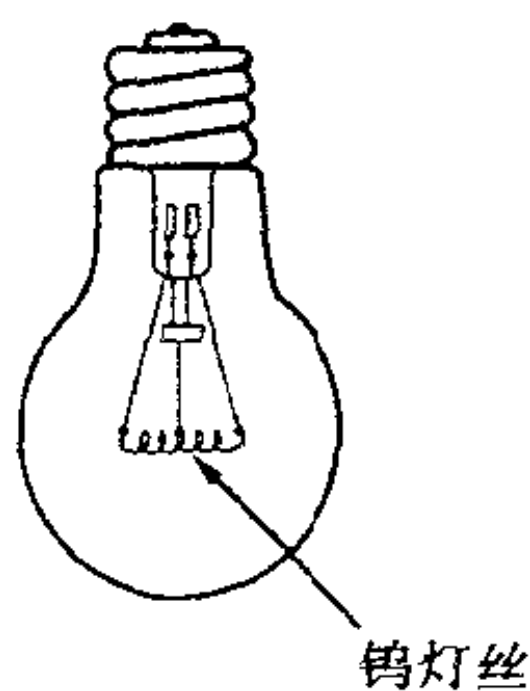


图 1.14 钨丝灯泡

- 应用红外线反射膜的卤钨灯(参见图 1.15)

充入的气体除了惰性气体 Ar 以外,再加入卤素(碘或溴)的灯泡叫做卤钨灯,其特征是小型、高效率、长寿命等。

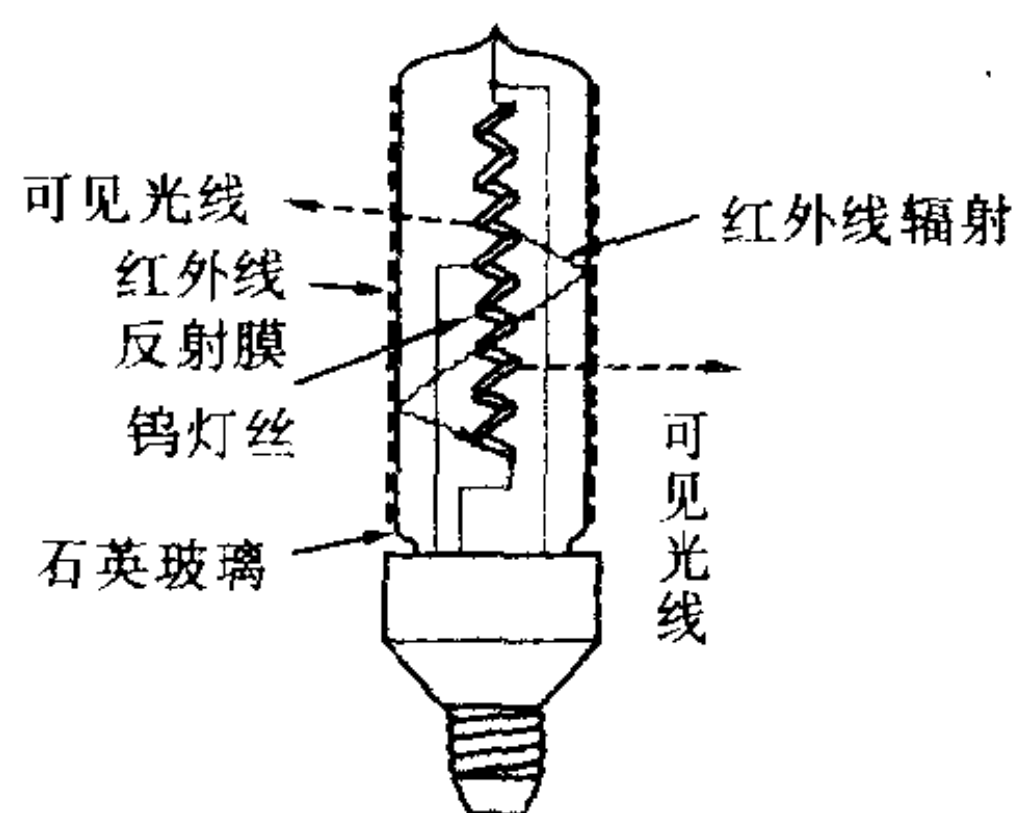


图 1.15 应用红外线反射膜的卤钨灯(单灯头)

1.3.1 白炽灯泡的构造

图 1.16 所示为一般用白炽灯泡。

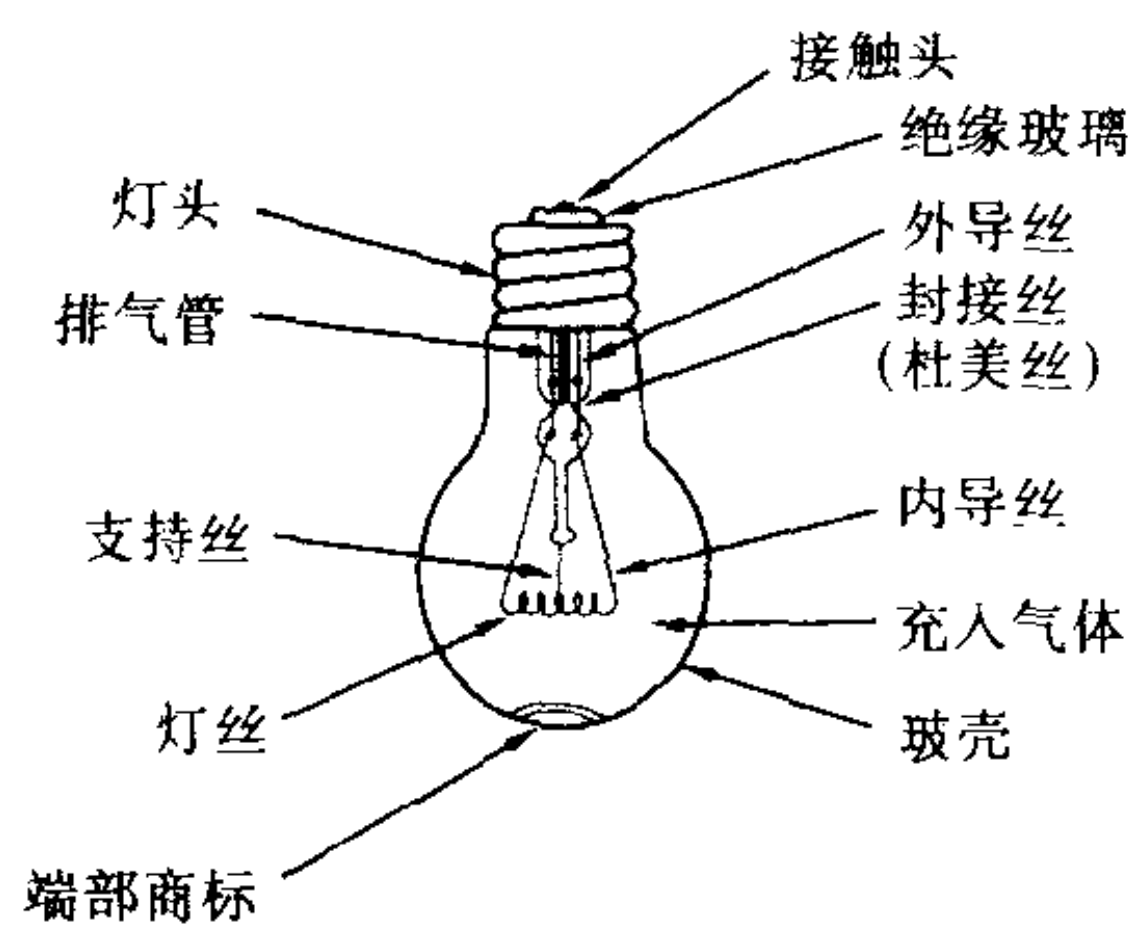


图 1.16 白炽灯泡的构造

(a) 灯丝(firament)

作为发光部分的灯丝，由于要进行热辐射，因此尽可能设法提高其温度。理想情况，是接近太阳光的 5000K 左右，但没有能够承受那样高温的材料。现在的灯丝使用钨（熔点为 3650K），灯丝采用单螺旋及双螺旋两种形式(参见图 1.17)。

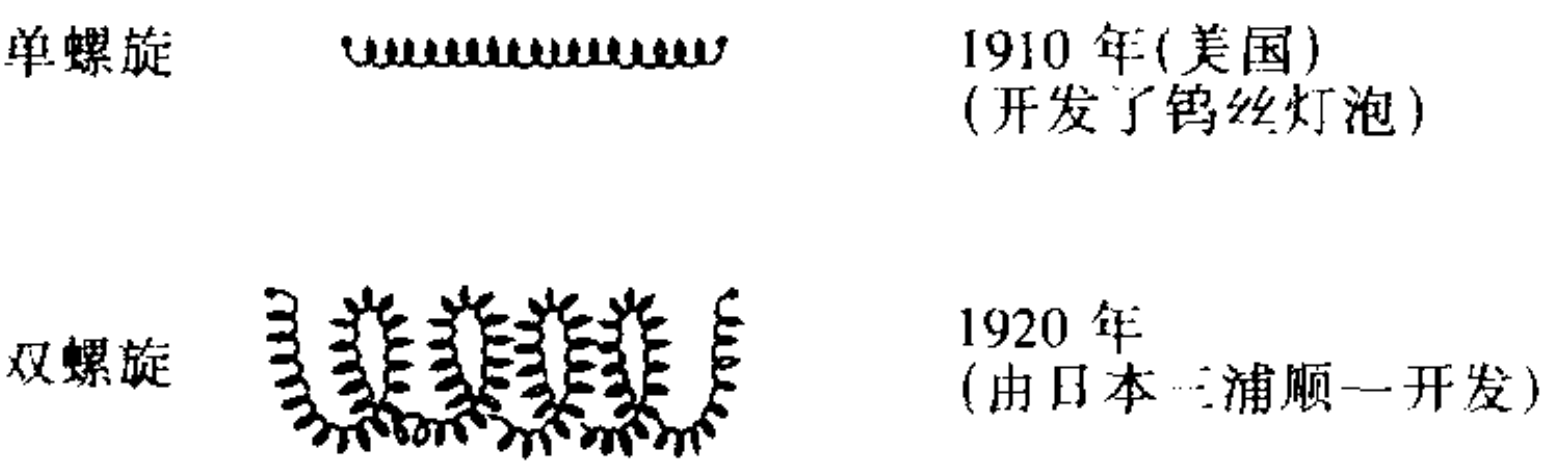


图 1.17 钨制灯丝

由于在高温下灯丝立刻被氧化，因此必须用排气泵将玻壳内抽成真空。但是，用排气泵不可能抽成完全的真空，因此要设法用吸气剂将残存的一点点 O₂ 附着在玻壳的内壁上。

(b) 导丝

导丝有玻壳内导丝、封接丝及通过芯柱与灯头相连的外导丝。其中，封接丝是最重要的部分，即如果芯柱使用的玻璃与导丝的膨胀系数不相等，则会有间隙，没有起到密封的作用。表 1.2 所示为一般使用的导丝的材料。

表 1.2 导丝材料

外导丝	封接丝	内导丝	芯柱玻璃种类	灯泡种类
铜丝	杜美丝	铜 丝	铅玻璃	真空灯泡
铜丝	杜美丝	纯铁·纯铜丝 (镀镍)	铅玻璃	充气灯泡

(c) 充气

为了提高灯泡的效率,就要提高灯丝的温度。在真空灯泡中,由于没有气压抑制钨的蒸发,因此蒸发的钨就附着在玻壳的内壁而变黑,将这叫做**黑化**。为了防止黑化现象,发明了将惰性气体充入玻壳内的充气灯泡(1913年,美国)。充入的气体一般为氩(Ar)及氮(N_2),使得点灯时内部约为一个大气压左右。100V 等级的一般照明用灯泡使用的氩 Ar 为 86% ~ 98% (参见图 1.18)。

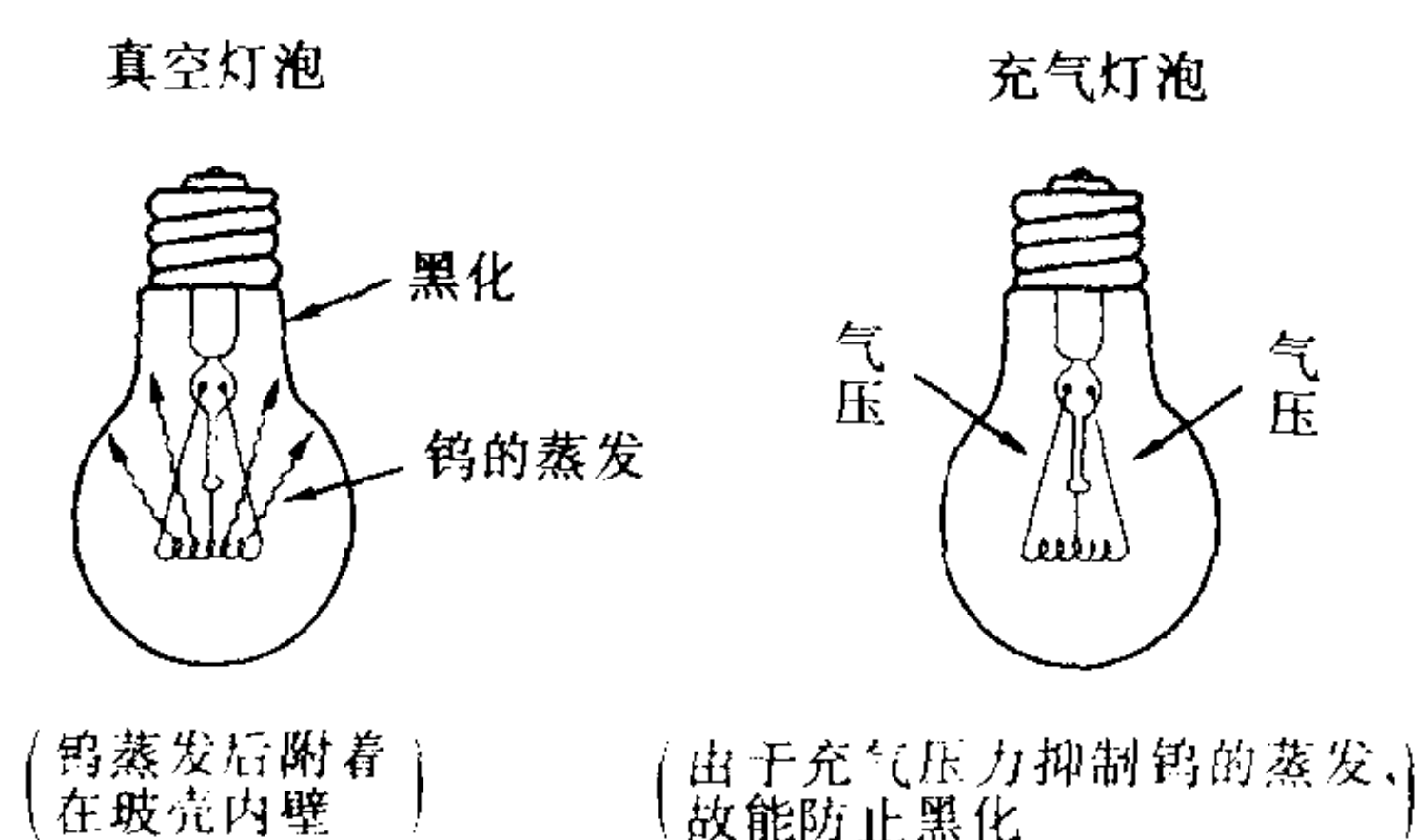


图 1.18 充气的效果

(d) 玻壳

一般照明用灯泡的玻壳采用软质的钠钙玻璃。大功率的灯泡采用硬质的硼硅酸玻璃。玻壳有透明的及涂白色的两种。透明灯泡是大功率灯泡,装在器具(乳白色球形玻璃灯罩)等中使用。内表面涂白色的灯泡直接用作一般照明用灯泡使用。通过内表面涂白色,能够降低光亮度。另外,根据不同用途,还有淡蓝色玻璃的日光色灯泡、照相显影用的红灯泡、印相用的茶色灯泡等。此外,还有装饰用的彩色灯泡等。

(e) 灯头

灯泡的灯头有螺口式及插口式两种。插口式即使用在振动的场所也不会松动。作为使用的例子有铁道车辆用灯泡、汽车用灯泡及船舶用灯泡等(参见图 1. 19)。

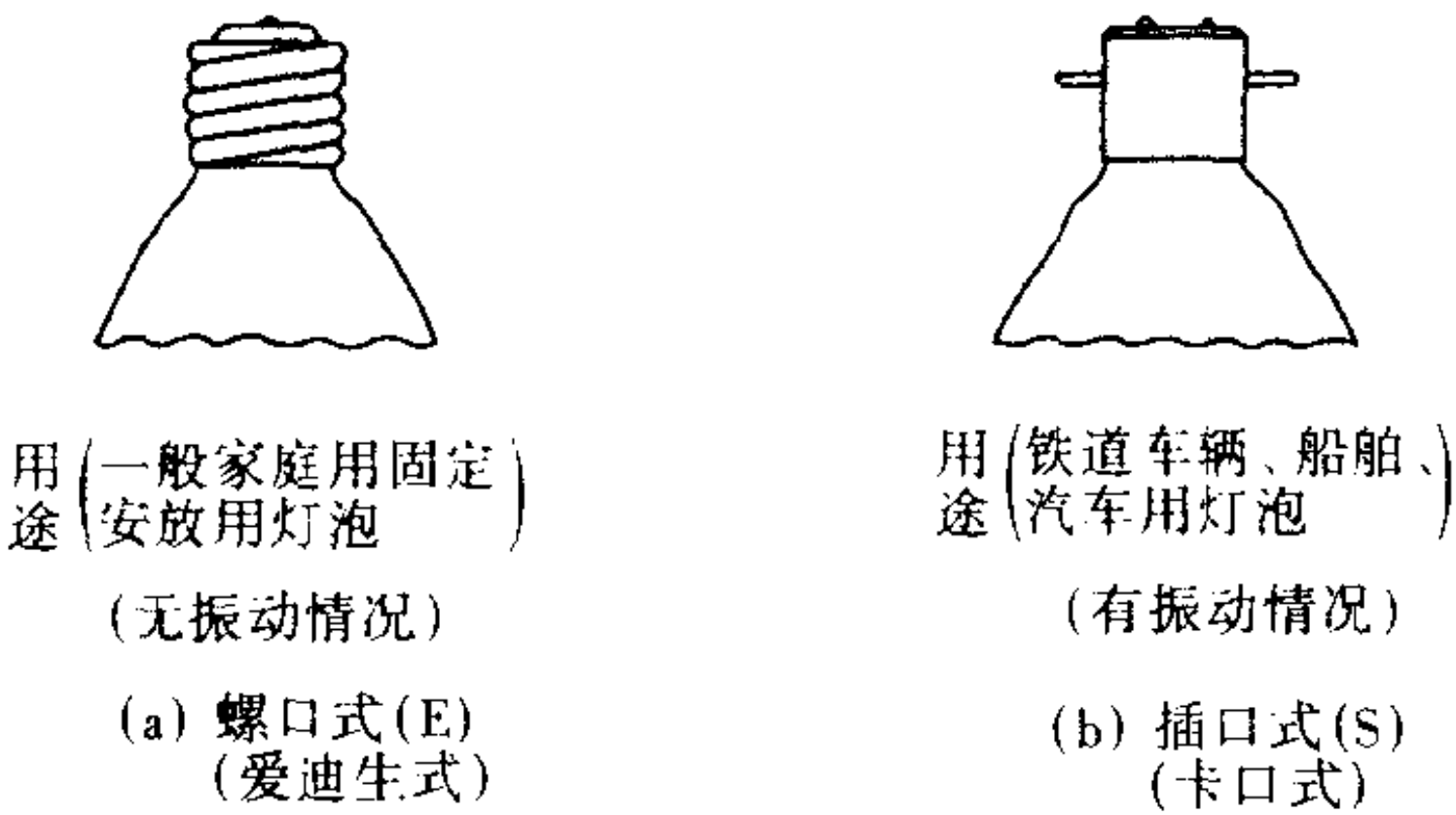


图 1. 19 灯 头

1. 3. 2 白炽灯的特性

(a) 灯泡的动态过程曲线

灯泡在刚制成后，一开始点灯，光通量及电流会显示出急剧的变化。光通量急剧增加，增大 10% ~ 15% 左右，达到极大值，然后慢慢减少，回落到一定值。电流慢慢减少，减少 1% ~ 3% 左右，达到一定值。这一现象是开始点灯后十几分钟之间产生的现象。该现象叫做**老化现象**。若将老化过的灯泡点灯，则随着时间的延续，光通量、电流、效率及功率稍微有点变化。该变化过程叫做**使用动态过程**(简称**动程**)。表示点灯时间及特性变化的曲线叫做**动程曲线**(参见图 1. 20)。

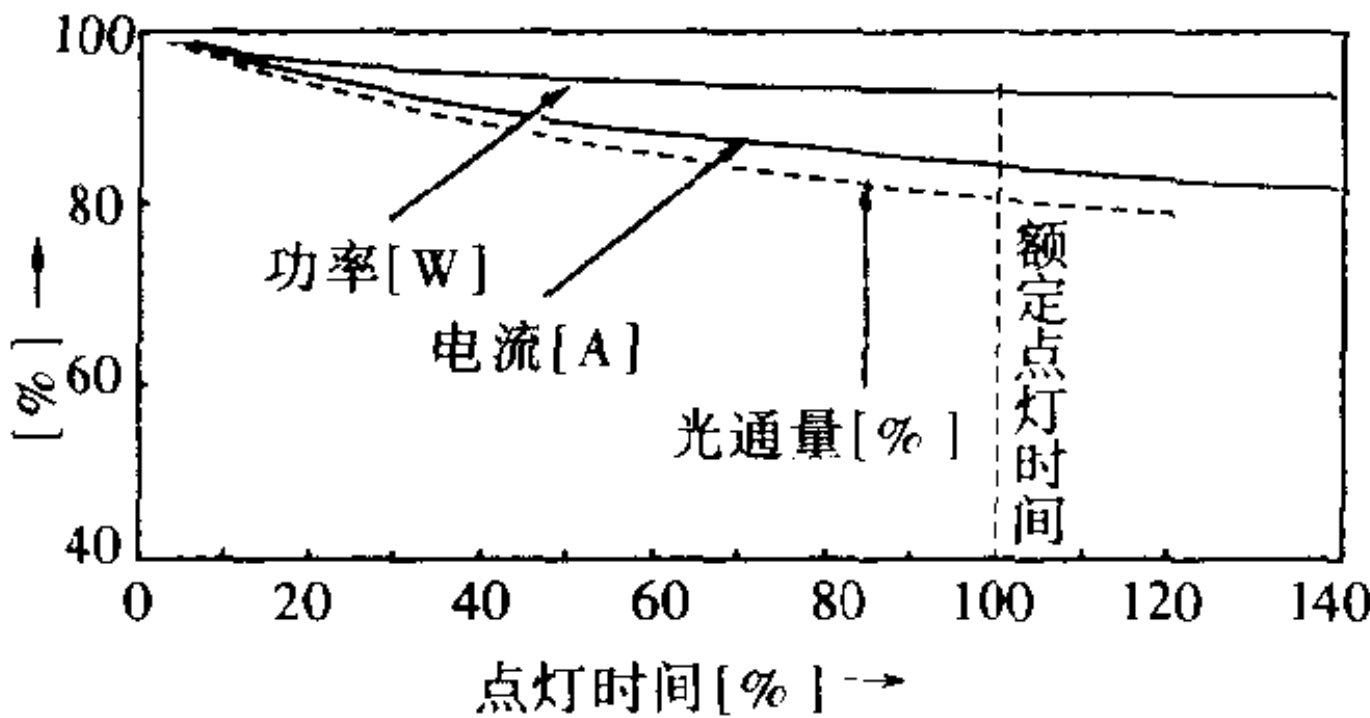


图 1. 20 白炽灯的动程曲线

(b) 灯泡的电压特性

① 光通量的电压特性：当灯泡所加电压比额定电压 V_0 要高或低时，光通量 F 为

$$\frac{F}{F_0} = \left(\frac{V}{V_0} \right)^{3.38}$$

所以

$$F = F_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^{3.38} \quad (1.12)$$

式中， F_0 = 额定时的光通量， F = 变化后的光通量。

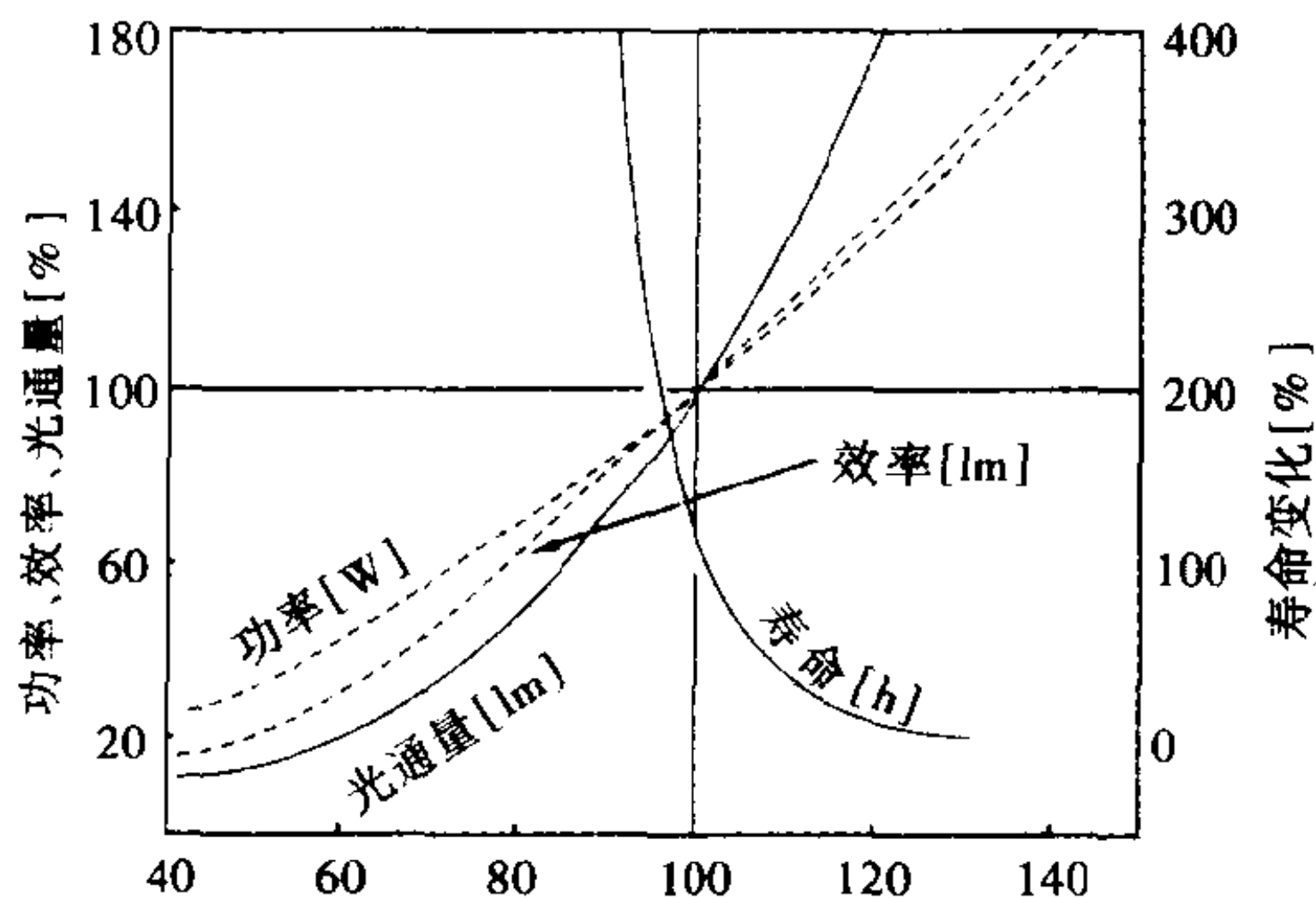
② 寿命 (Life) 的电压特性：寿命 L 可按下式求出 (参见图 1.21)

$$\frac{L}{L_0} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{13.1}$$

所以

$$L = L_0 \left(\frac{V_0}{V} \right)^{13.1} \quad (1.13)$$

式中， L_0 = 额定时的寿命， L = 变化后的寿命。



例：额定 100V-100W
的灯泡， $V = 95V$ 时

$$\begin{cases} F = F_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^{3.38} = F_0 \times \left(\frac{95}{100} \right)^{3.38} \\ \quad \text{(光通量)} \\ \quad \quad \quad = 0.841 F_0 \\ L = L_0 \left(\frac{V_0}{V} \right)^{13.1} = L_0 \times \left(\frac{100}{95} \right)^{13.1} \\ \quad \text{(寿命)} \\ \quad \quad \quad = 1.96 L_0 \\ V = 105V \text{ 时} \\ \begin{cases} F = F_0 \times \left(\frac{105}{100} \right)^{3.38} = 1.18 F_0 \\ L = L_0 \times \left(\frac{100}{105} \right)^{13.1} = 0.53 L_0 \end{cases} \end{cases}$$


图 1.21 一般用白炽灯的特性

1.3.3 白炽灯的种类

(a) 一般照明用灯泡

白炽灯广泛用作一般家庭的主要光源。现在主要采用的是涂以白色薄膜的灯泡。表 1.3 所示为灯泡的额定值。

表 1.3 一般照明用灯泡的额定值(JIS C 7501 - 83)

种 类	型 号	玻壳直径 [mm]	灯 头	光通量 [lm]	效 率 [lm/W]	额定寿命 [h]
涂白色  JIS C 7501	LW100V - 40W	55 或 60	E26/25	485	12.1	1000
	LW100V - 60W	55 或 60		810	13.5	
	LW100V - 100W	60		1520	15.2	
涂白色 薄膜 JIS C 7501	LW100V - 38W	55 或 60	E26/25	485	12.8	1000
	LW100V - 57W	55 或 60		810	14.2	
	LW100V - 95W	60		1520	16.0	

(b) 卤钨灯

白炽灯在点灯中，从高温的灯丝开始蒸发钨，导致光通量下降。另外，钨分子附着在灯泡内壁，引起黑化现象，使效率降低。卤钨灯改善了这些问题(参见图 1.22)。

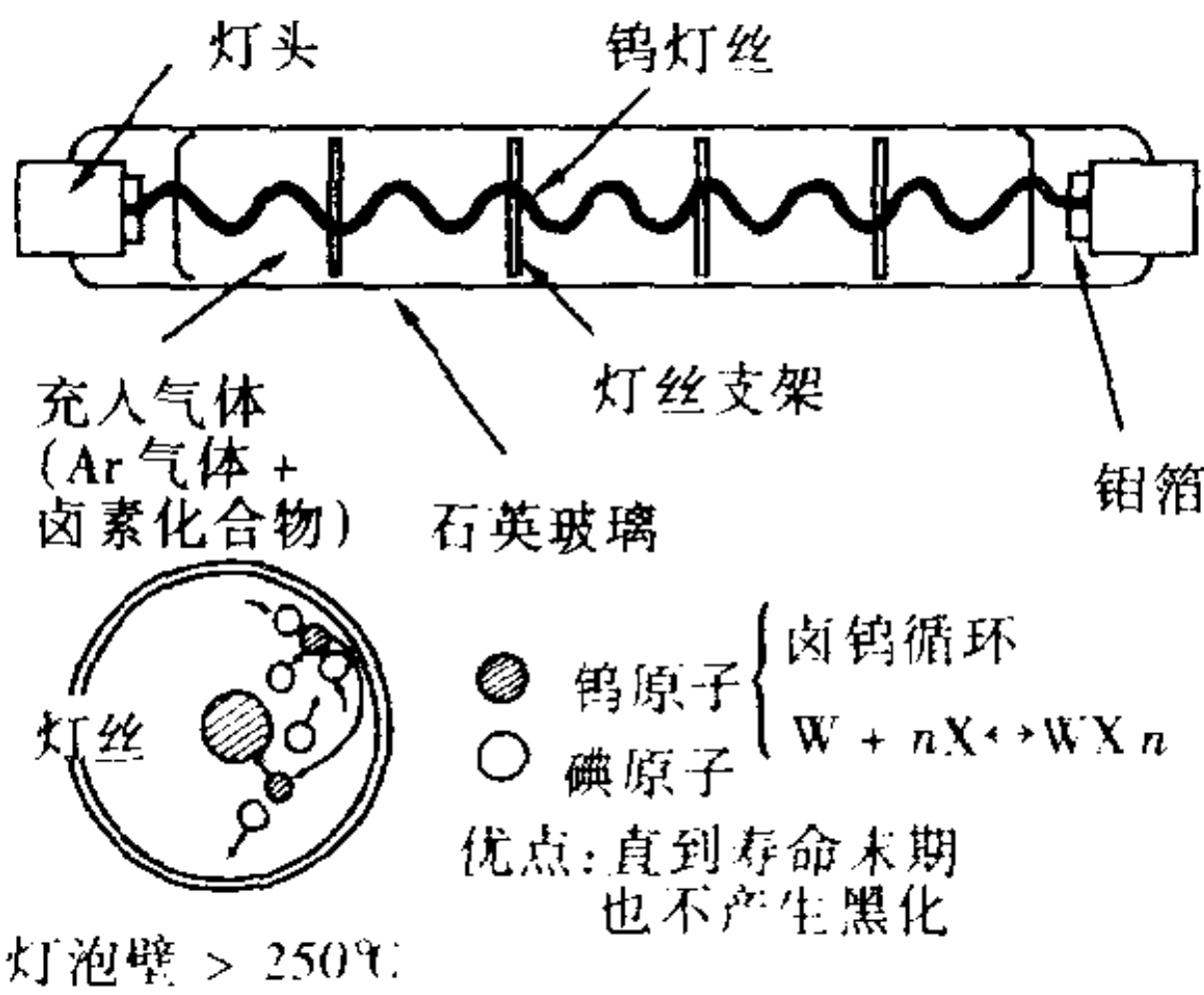


图 1.22 卤钨灯的构造及卤钨循环

(c) 反射型灯泡

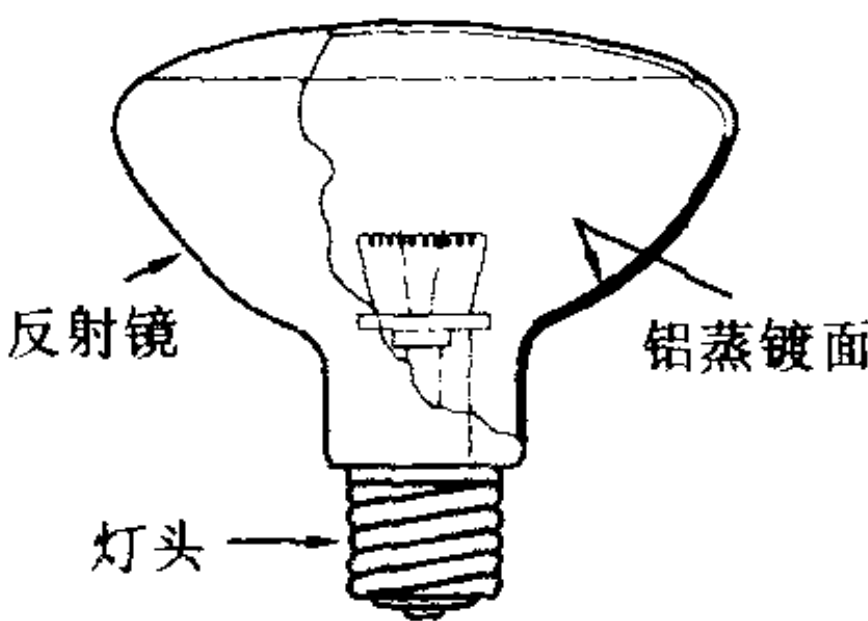


图 1.23 反射型灯泡

其是在具有投射曲面的玻壳内表面真空蒸镀银或铝作为反射面的灯泡。另外,还有不使用投光器、而灯泡本身具有光的方向性(投光性)的灯泡,以及投光用光束灯泡、汽车前照灯用密封光束灯泡(参见图 1.23)。

1.4

放电灯

当使用荧光灯作为光源时，要充分注意关于显色性的问题（参见图 1.24）。

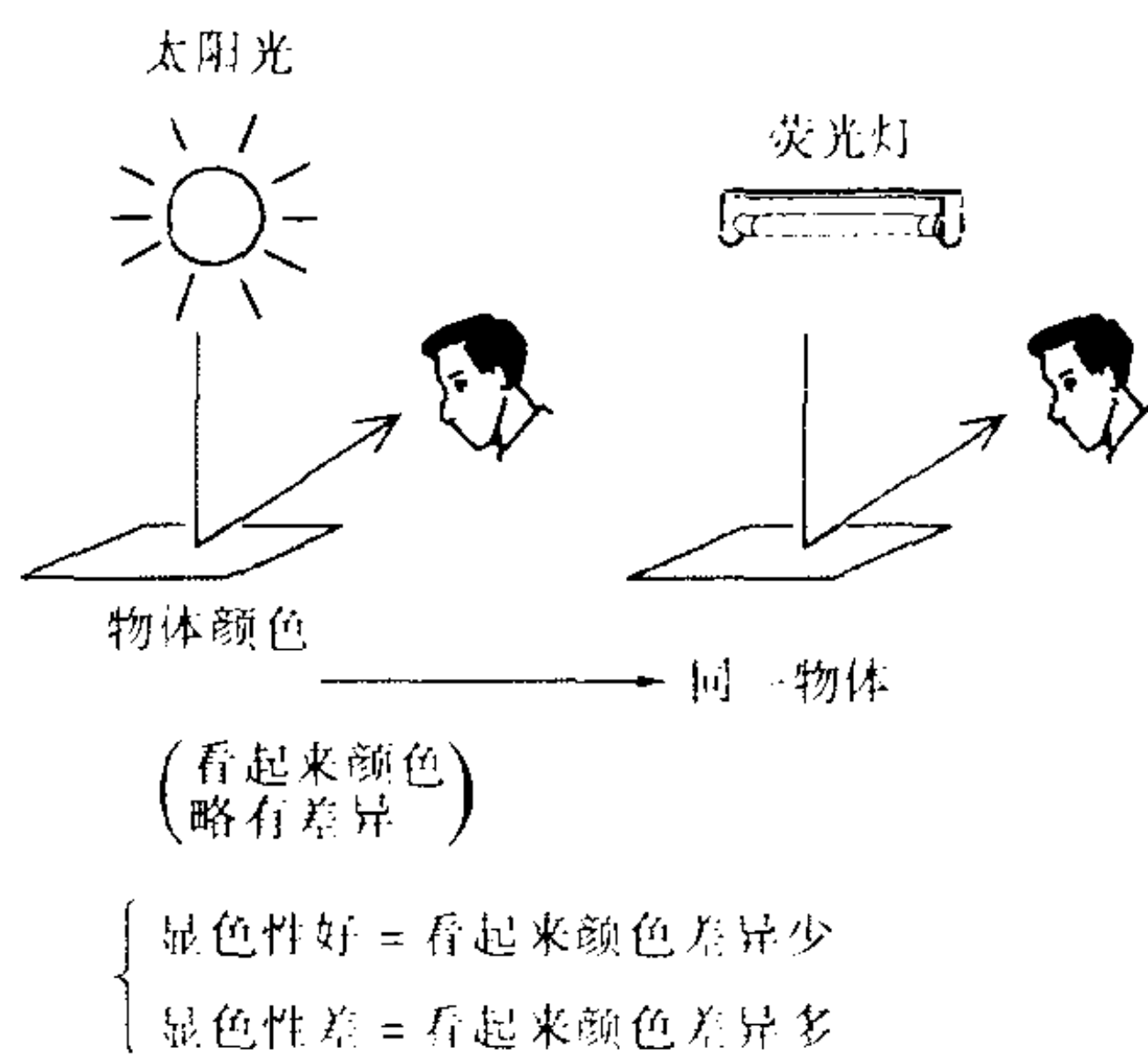


图 1.24 关于显色性

荧光灯的使用电压变化时的特性为：电压变化 -5V 时，光通量减少约 8% ；电压变化 $+5\text{V}$ 时，光通量增加约 8% ，不像白炽灯那样变化大（参见图 1.25）

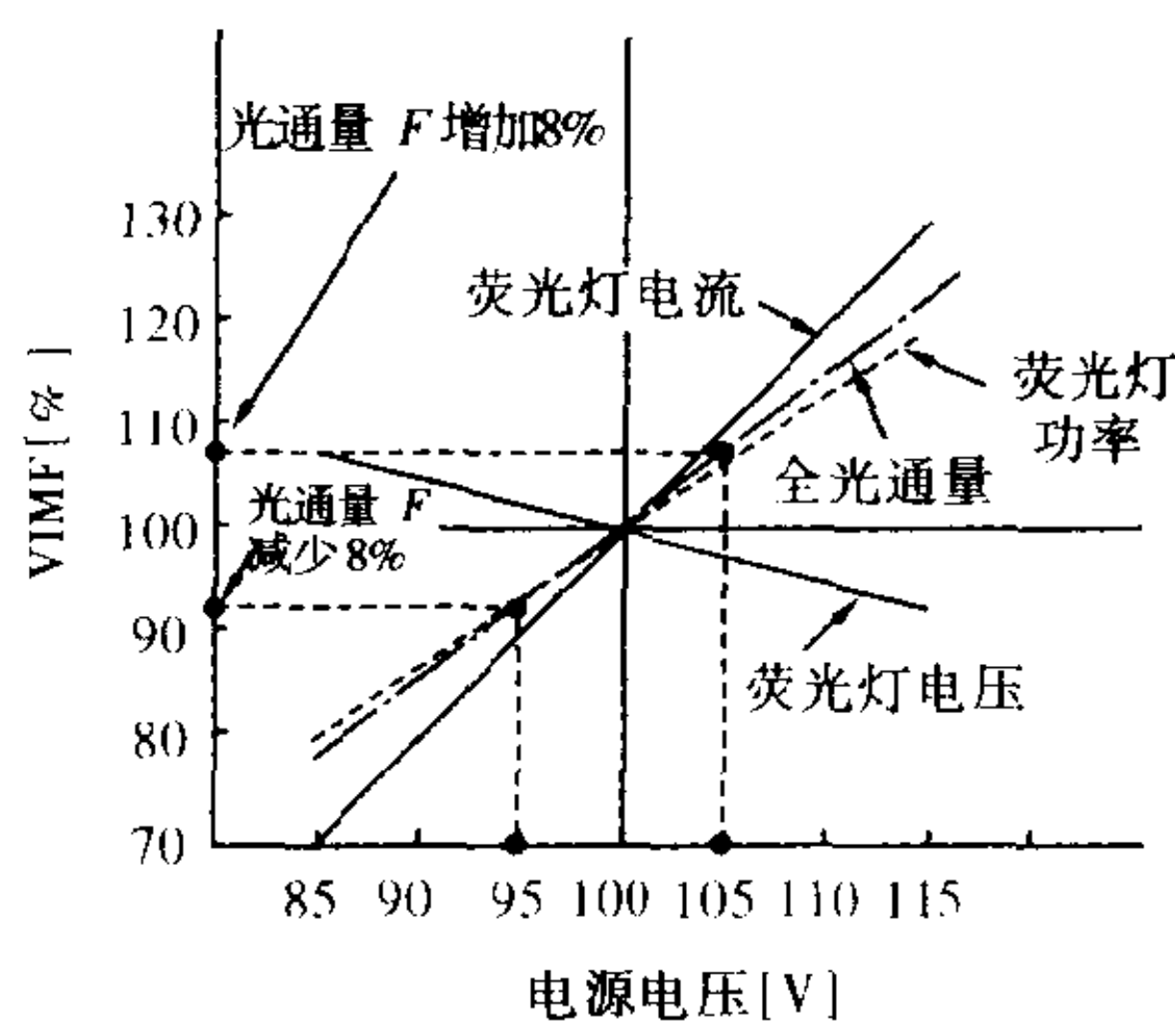


图 1.25 荧光灯的光通量变化

荧光灯的电压变动时, 不管电压是增加还是减少, 其寿命都减少(参见图 1.26)。

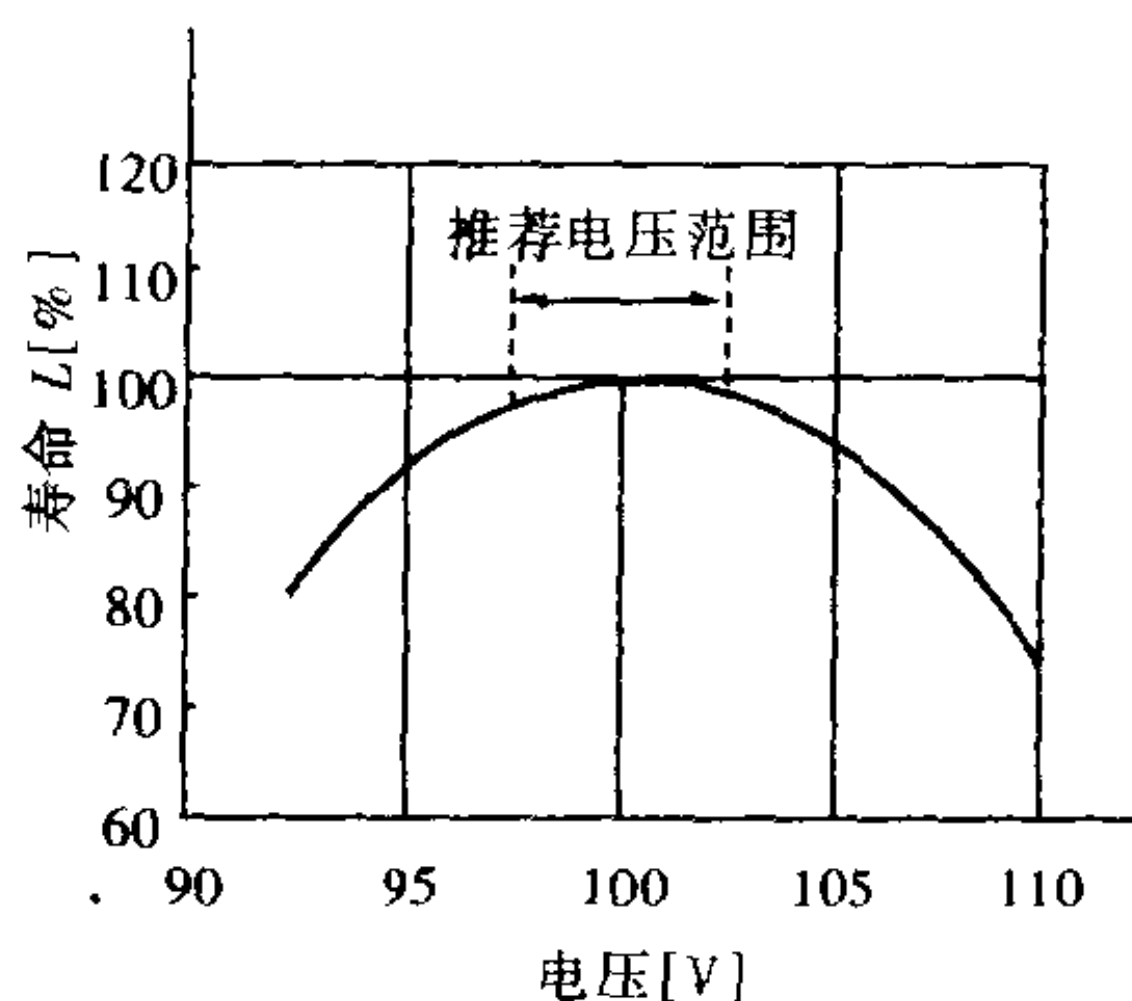


图 1.26 荧光灯的寿命

1.4.1 荧光灯

(a) 荧光灯的经历

荧光灯是在 1938 年由美国 GE 公司英曼 (Inman) 等人的研究组开发的, 1947 年进入日本。

(b) 荧光灯的构造及原理

荧光灯是将在压力约 $1\text{Pa} [(6 \sim 10) \times 10^{-3} \text{Torr}]$ 的低压水银蒸气中放电产生紫外线的波长为 253.7nm 的紫外线辐射, 通过涂敷在管内壁的荧光物质变换为可见光线(参见图 1.27)。

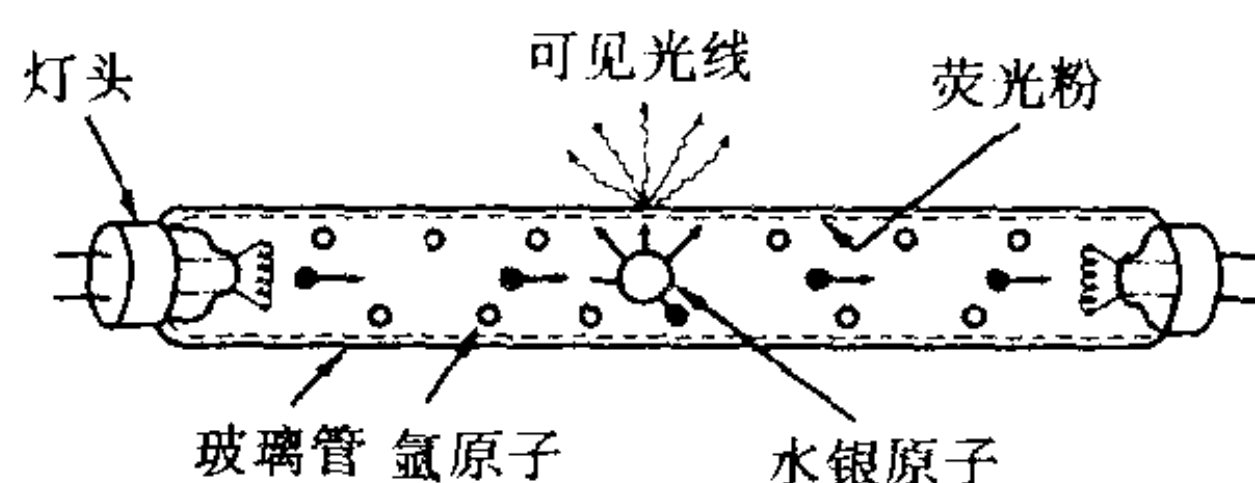


图 1.27 荧光灯的构造及发光原理图

(c) 电极

电极为双螺旋钨丝, 其上附有钡、锶、钙的氧化物。当电极通电或有放电电流流过时, 则电极被加热至数百度, 因而从电极发射出热电子。

(d) 封入水银蒸气及气体

封入管内的水银及氙气的压力为数百 Pa ($2 \sim 3\text{Torr}$)。该封入气体的作用有下列三点：

- ① 使具有低的电离能量的水银容易电离。
- ② 氙原子阻碍水银离子的运动, 减慢电极寿命的缩短及管端部的黑化进程。
- ③ 阻碍向放电管壁方向扩散的电子, 防止电子的损失。

(e) 荧光灯的形状

形状有直管形(一般的形状)、环形及灯泡形(参见图 1.28)。

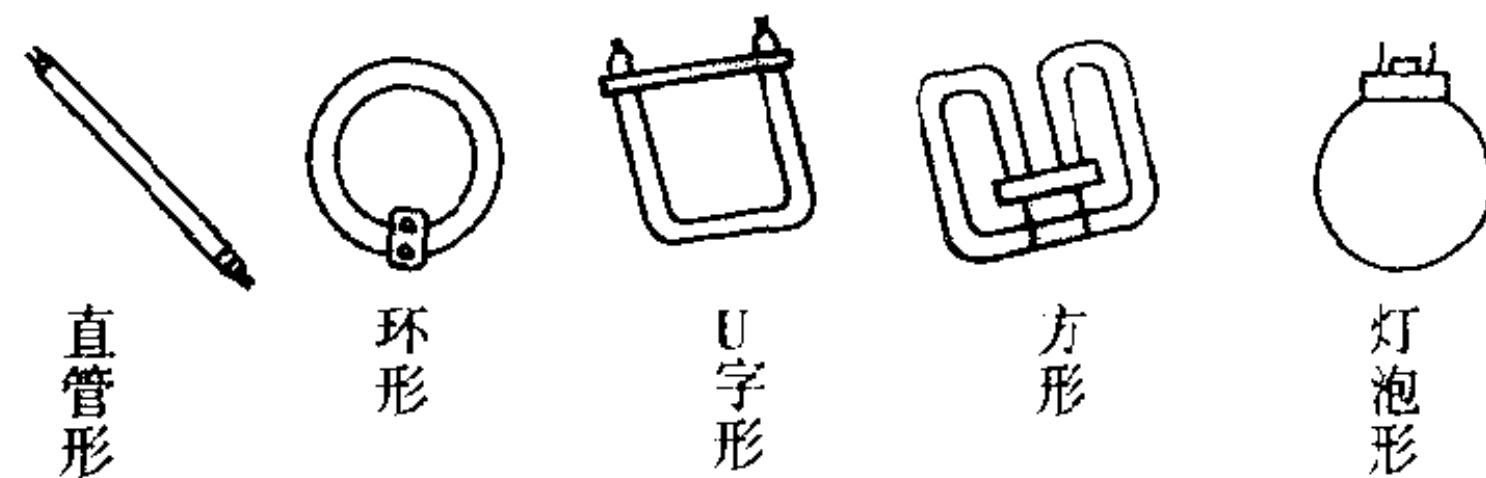


图 1.28 荧光灯的形状

(f) 荧光粉及光色

使用最多的荧光粉是卤磷酸钙, 主要是白色及日光色。

1.4.2 荧光灯的点灯电路**(a) 镇流器(扼流圈)**

放电灯有这样的性质, 即一旦流过放电灯的电流增加, 则端电压下降。因此, 为了使放电灯稳定动作, 必须串联镇流器作为电流控制元件。图 1.29 为基本的点灯电路。

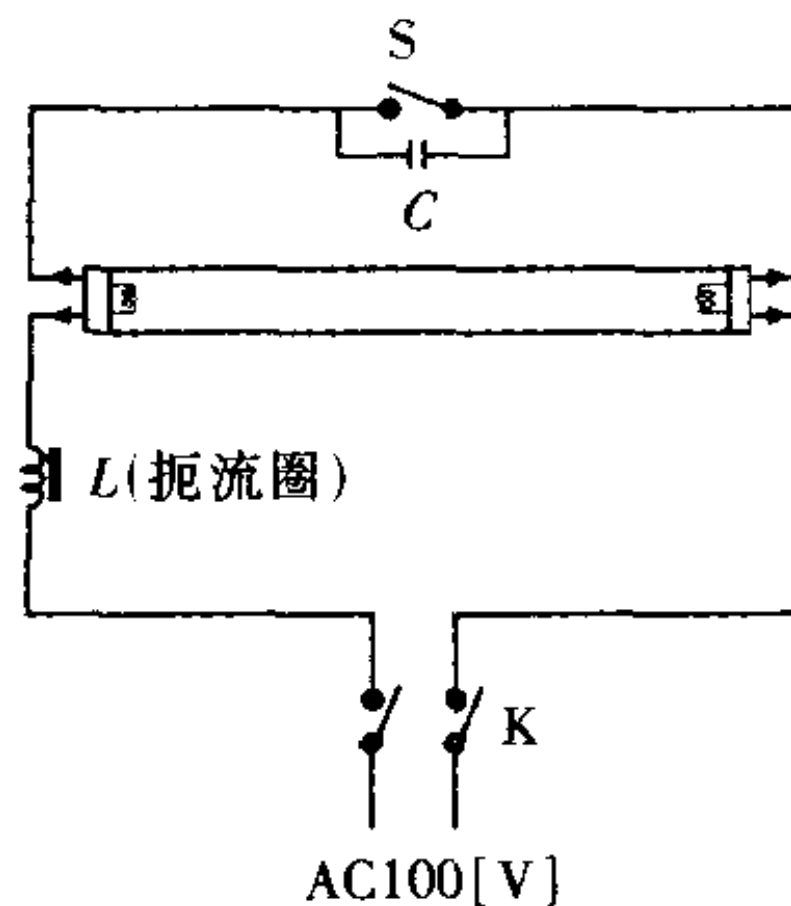


图 1.29 荧光灯的点灯电路

(b) 荧光灯点灯电路

点灯电路大致可分为：①启动器型(预热启动型)和②快速启动型两种方式。

① 启动器型点灯电路：启动器型有辉光启动器及按钮开关两种。在图 1.29 中是用按钮开关,使按钮开关 S 闭合→将电极的钨丝加热→达到容易从电极发射热电子的温度(灯管两端“噗”地变亮)→断开 S→镇流器产生冲击电压→电极两端加上高电压而开始放电,荧光灯点亮。而辉光启动器则能自动重复该开关的动作,直到点灯为止。图 1.30 所示为辉光启动器(也叫做点灯管)的动作过程。封入辉光启动器的氖(Ne)或氩(Ar)一放电,双金属片的温度就上升,与固定电极接触,S 变为接通状态→放电停止→双金属片冷却(1~2s)→S 变为断开状态。荧光灯开始放电,一旦点灯,则辉光启动器就不动作。

② 快速启动型：一接通电源,就在灯管电极间加上高电压,同时流过加热电流,经过约 1 秒钟点亮。

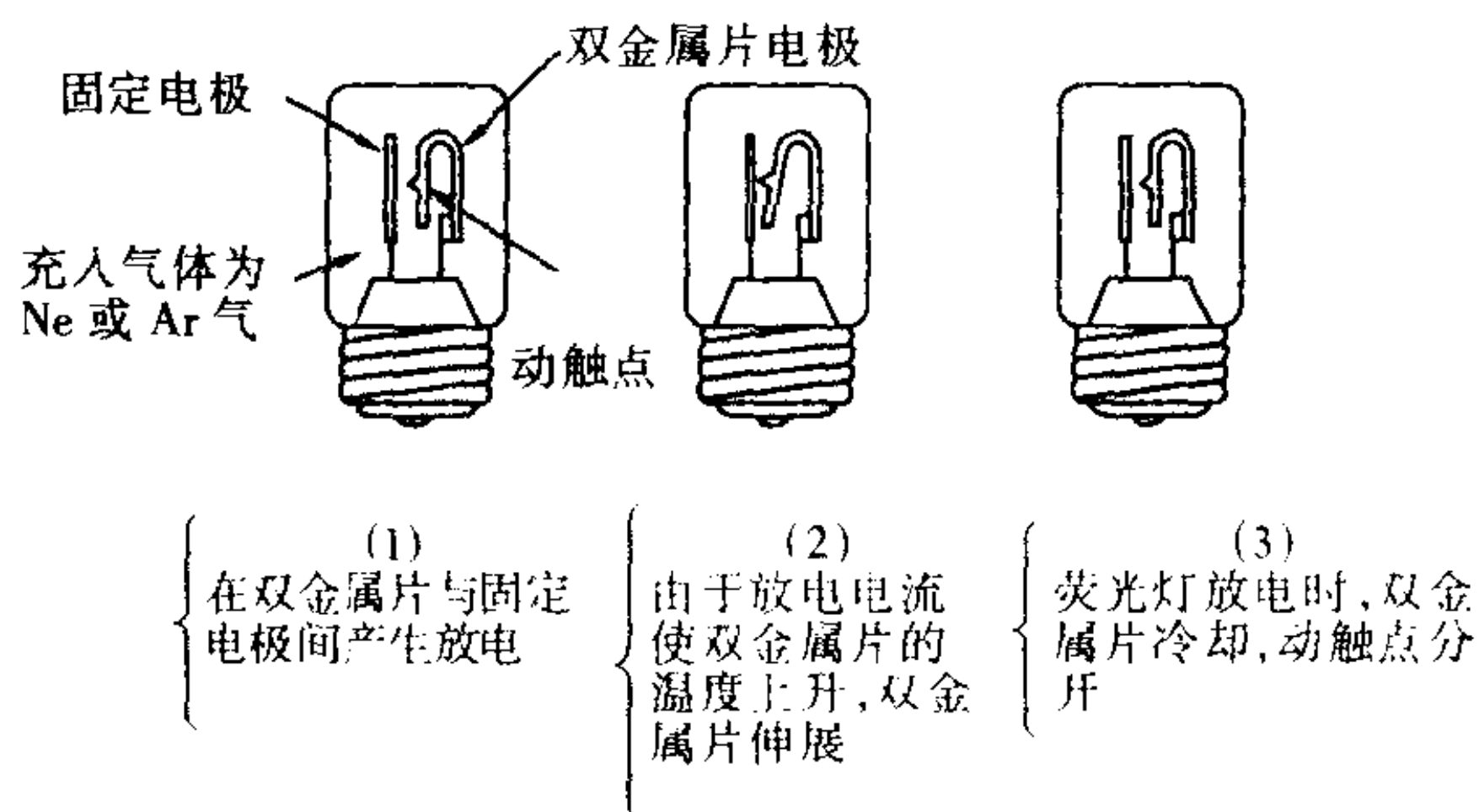


图 1.30 辉光启动器的动作

1.4.3 高压汞灯

(a) 高压汞灯的构造及概要

图 1.31 所示为高压汞灯的构造,其外壳是透明的。高压汞灯有两种,一种是仅利用发光管发出的水银光谱的高压汞灯,另一种是用涂在外壳内表面的荧光物质、将发光管发出的 365nm 的紫外线辐射变换为接近红色光的波长的荧光汞灯。

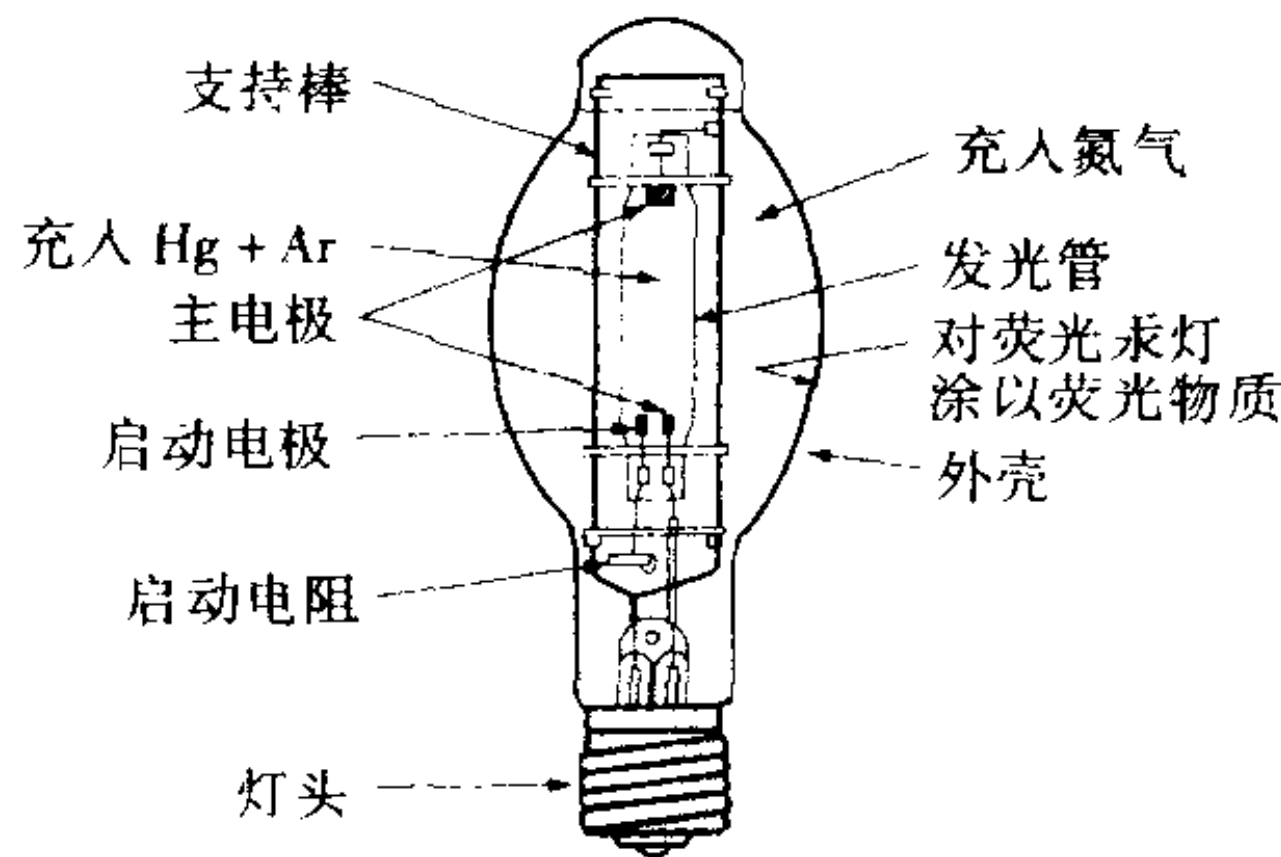


图 1.31 高压汞灯构造图

(b) 高压汞灯的启动及再启动

如图 1.32 所示，高压汞灯的启动过程是：将汞灯加上电压→在主电极与辅助电极间引起辉光放电→同时主电极间产生电弧→利用该电弧放电的热量使水银蒸发→该蒸气在几分钟后完全蒸发并达到稳定状态。发光管采用耐热石英玻璃。发光管内封入的水银与规定的汞灯电压相应，另外还封入降低启动电压用的氩气(约 10^3Pa)。由于点灯时发光管的温度达到约 600°C ，因此为了保温，就必须有外壳。外壳内，一般封入 0.5 大气压的氮气。高压汞灯一旦熄灯后，由于水银蒸气压很高，因此启动困难，到再点灯的时间约需 10 分钟(根据日本工业标准 JIS,再启动时间规定为 10 分钟以内)。

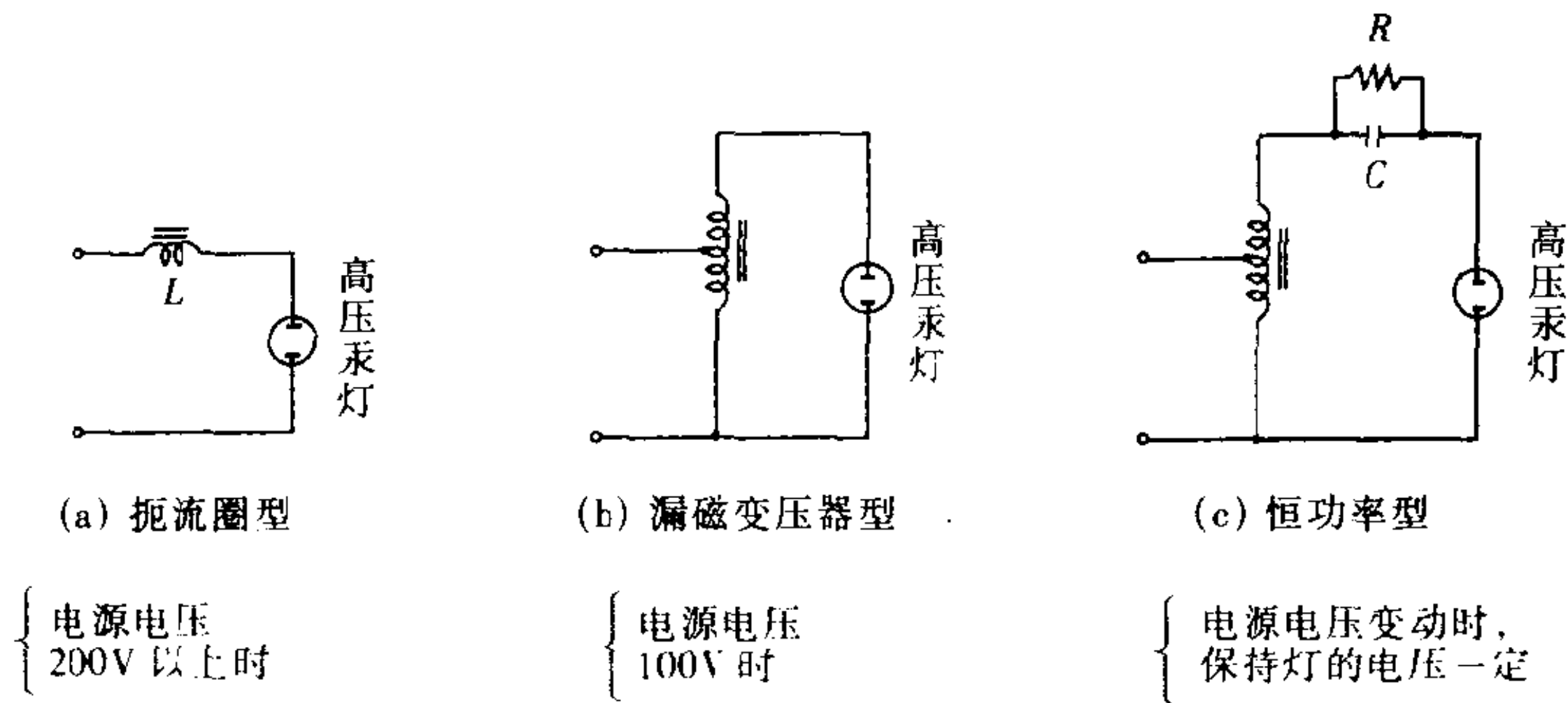


图 1.32 高压汞灯镇流器电路

1.5

照明设计

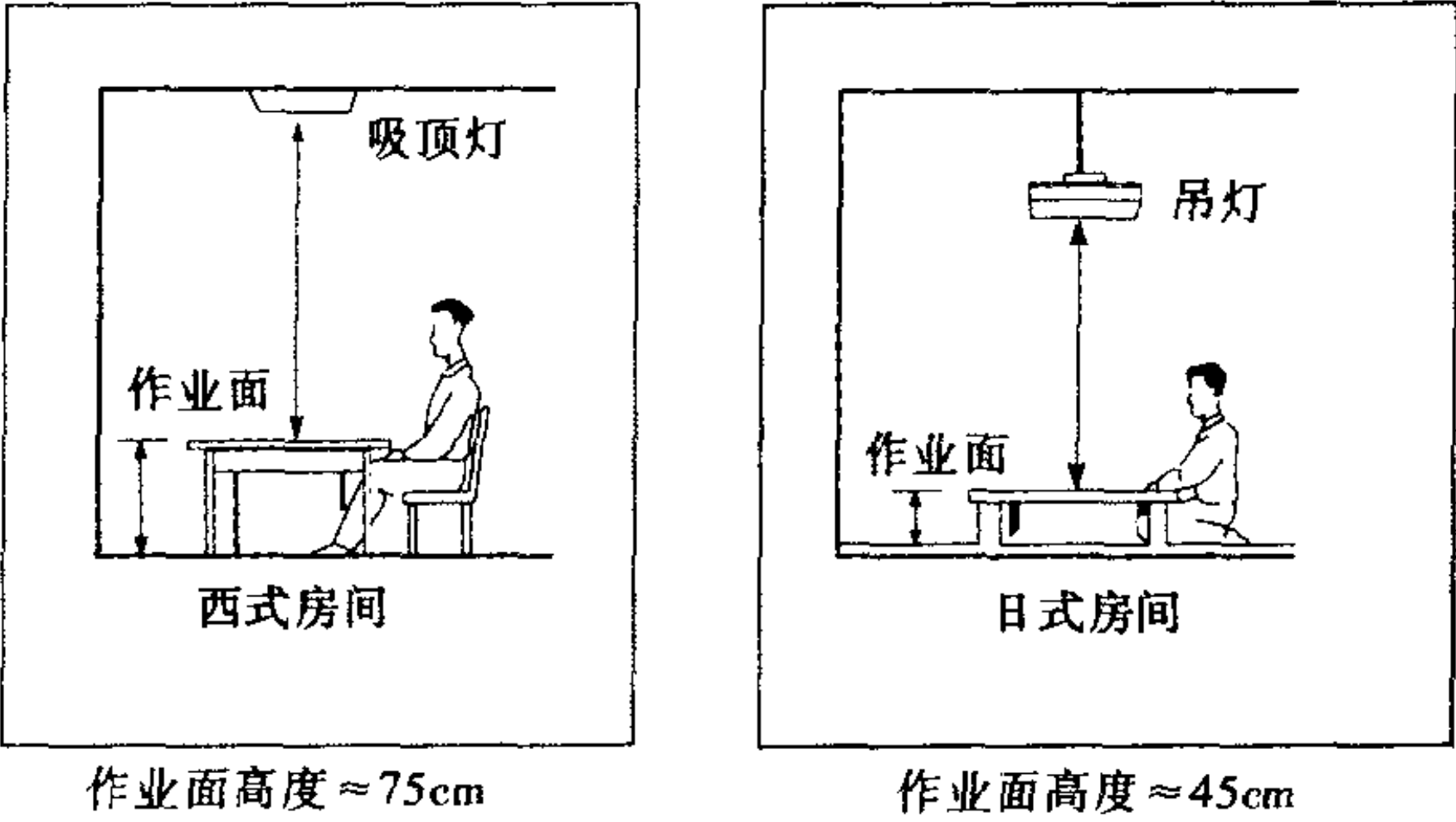


图 1.33 作业面高度

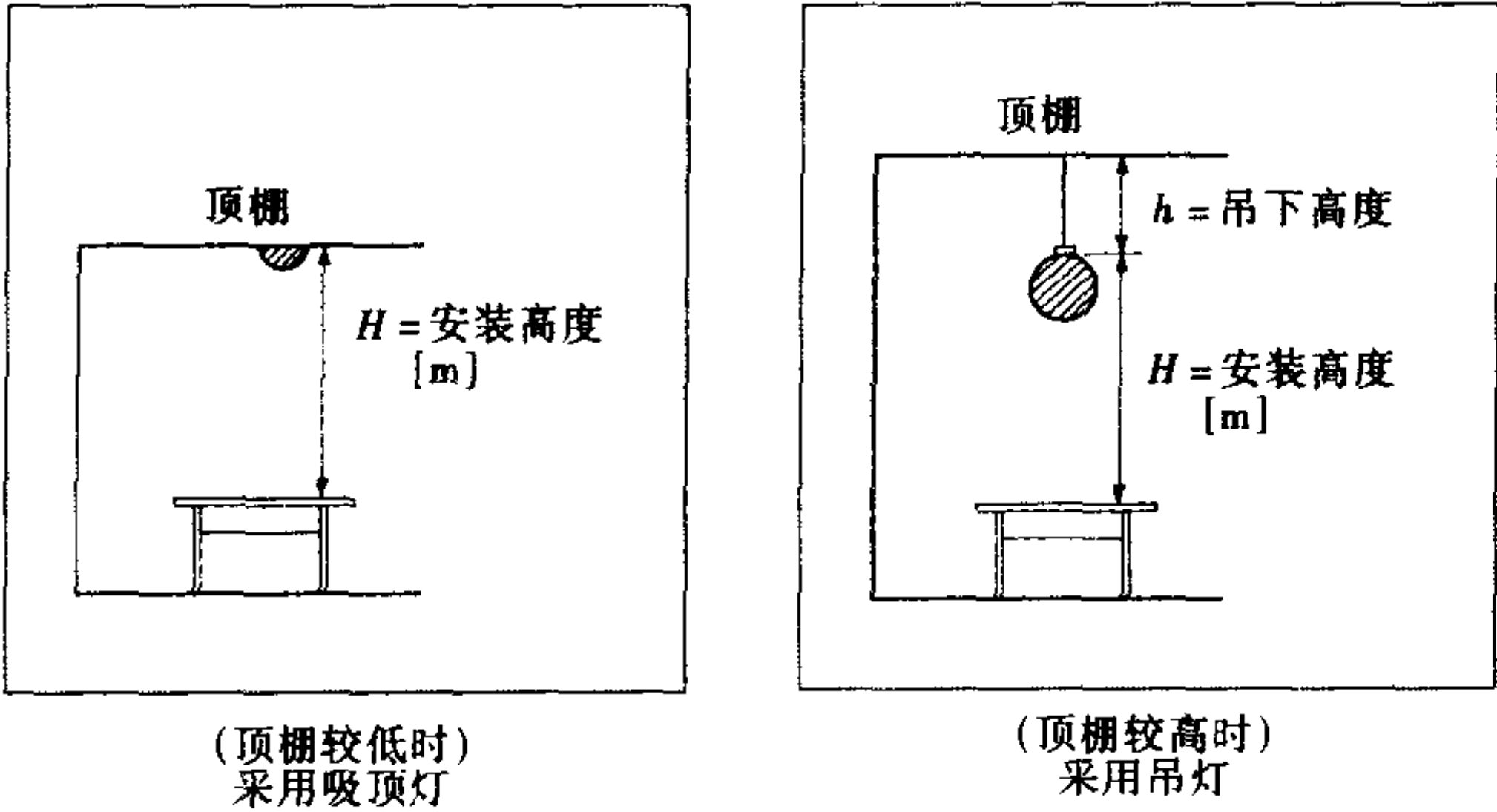


图 1.34 灯具安装方法

1.5.1 照明设计基础

(a) 室形指数(k)

即使在房间面积相等的两间房间设置同样数量的光源，但在房间形状不同的情况下，作业面上的照度也不一样。因此，顶棚及地面为长方形的房间与将宽度 x 及进深 y 的两边调和平均作为一边的正方形房间是一样的，根据这一理论，由下式决定室形指数 k 。

$$k = \frac{xy}{H(x+y)} \quad (1.14)$$

式中, H = 从光源到作业面的高度[m](参见图 1.35)。

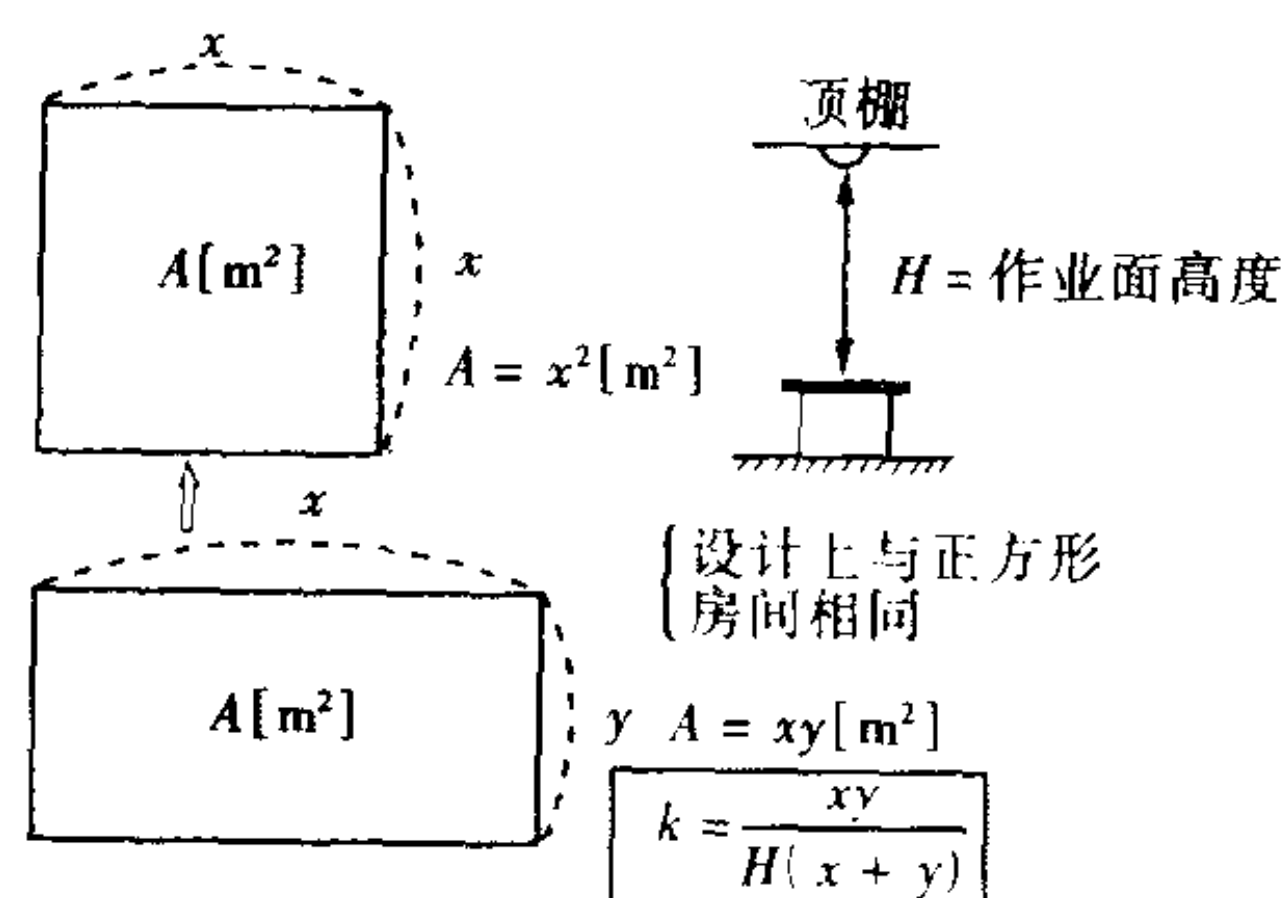
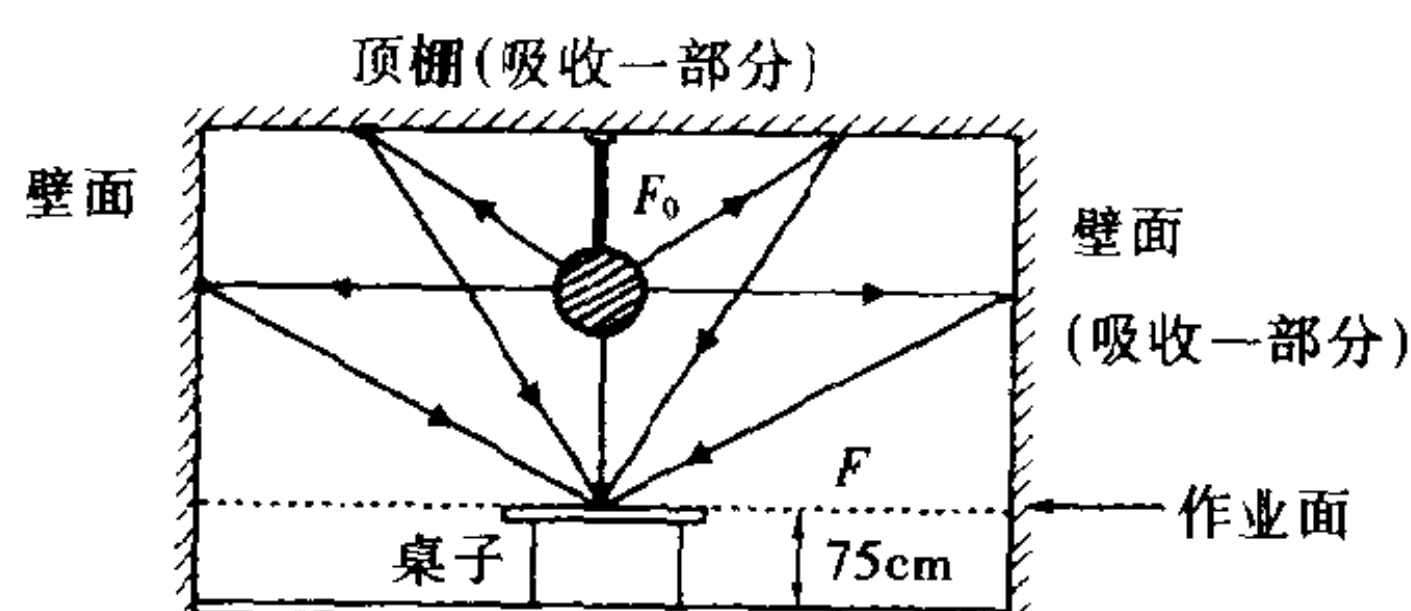


图 1.35 室形指数

(b) 照明系数 U [%]

在室内照明中, 从光源发射的光通量 F_0 , 由于照明器具的损失及顶棚和壁面的吸收等, 并不全部到达作业面。因此, 若设辐射光通量为 F_0 , 作业面的入射光通量为 F , 则照明系数 U 如下所示(参见图 1.36)

$$U = \frac{F}{F_0} \times 100[\%] \quad (1.15)$$



F_0 : 从光源发射的全光通量[lm]

F : 到达作业面的光通量[lm]

照明系数 $U = \frac{F[\text{lm}]}{F_0[\text{lm}]} \times 100[\%]$

图 1.36 照明系数说明图

(c) 维护系数

当长期使用照明设施时, 灯的光通量将大大减少。其原因是

由于灯具上附着的灰尘等使光源的光通量减少，荧光灯上附着灰尘特别显著。降低后的照度与初始照度之比叫做维护系数。表 1.4 所示为维护系数的大致标准。

表 1.4 维护系数的标准

	采用灯泡	采用荧光灯	维护状态	房间举例
一般照明	0.75	0.7	良	百货商店、银行
垃圾较多的场所或 难以清扫的器具	0.7	0.65	中	办公室
间接照明	0.6	0.55	否	门厅、学校

1.5.2 照明设计实际举例

有一间宽 10m、进深 15m 的办公室。设顶棚高 2.7m，顶棚反射率 75%，墙壁反射率 30%，试进行照明设计。这里，设灯具采用双管荧光灯，每根荧光灯的光通量为 2800lm。另外，设作业面照度为 500lx(参见图 1.37)。

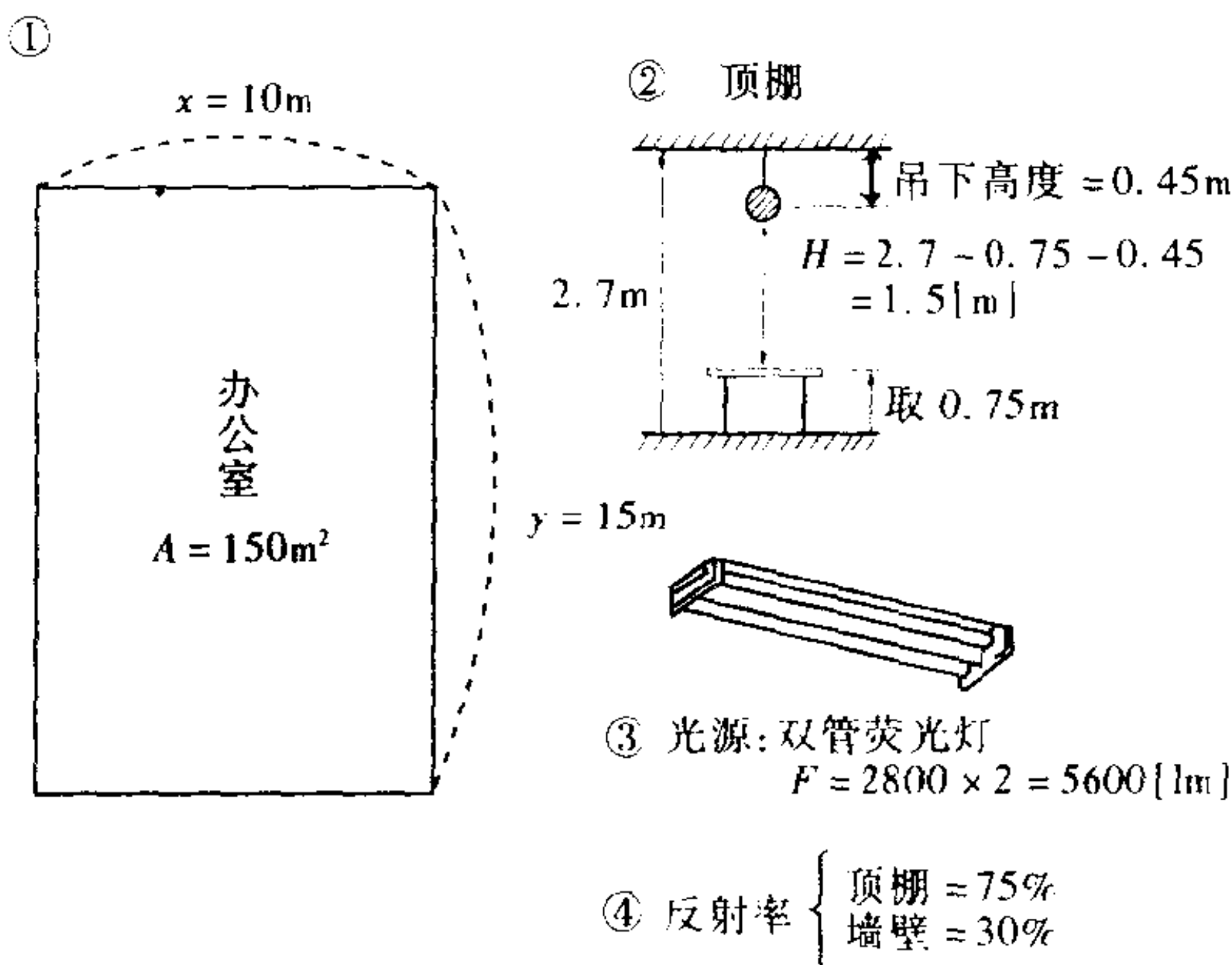


图 1.37 设计课题的说明

设计顺序 1(室面积: $A[\text{m}^2]$)

$A = xy = 10 \times 15 = 150[\text{m}^2]$

设计顺序 2(室形指数: k)

$$k = \frac{xy}{H(x+y)} = \frac{10 \times 15}{1.5 \times (10 + 15)} = 4$$

设计顺序 3(照明系数: U)

根据表 1.5, 按照室形指数 4.0 → 顶棚反射率 75% → 墙壁 30% → 40W 的灯两盏这一栏, 求得 $U = 0.60$ 。

表 1.5 照明器具的照明系数之一例

器具	顶棚	75%			50%			30%	
	墙壁	50%	30%	10%	50%	30%	10%	30%	10%
	室形指数	照明系数							
40W × 2	0.6	0.29	0.24	0.21	0.27	0.23	0.20	0.21	0.19
	0.8	0.36	0.31	0.28	0.33	0.29	0.26	0.27	0.25
	1.0	0.41	0.36	0.33	0.37	0.33	0.30	0.31	0.28
	1.25	0.45	0.40	0.36	0.41	0.37	0.34	0.34	0.32
	1.5	0.48	0.44	0.39	0.43	0.40	0.36	0.36	0.34
	2.0	0.53	0.49	0.44	0.48	0.44	0.41	0.40	0.38
	2.5	0.57	0.53	0.49	0.52	0.48	0.45	0.44	0.42
	3.0	0.60	0.56	0.51	0.54	0.50	0.47	0.46	0.44
	4.0	0.64	0.60	0.56	0.57	0.53	0.51	0.49	0.47
	5.0	0.67	0.62	0.59	0.59	0.55	0.53	0.50	0.49
40W × 2 埋入式	0.6	0.36	0.29	0.25	0.35	0.29	0.25	0.29	0.25
	0.8	0.45	0.39	0.35	0.44	0.38	0.34	0.38	0.34
	1.0	0.50	0.45	0.41	0.48	0.44	0.40	0.43	0.40
	1.25	0.54	0.49	0.45	0.52	0.48	0.44	0.47	0.44
	1.5	0.57	0.52	0.48	0.55	0.51	0.47	0.50	0.47
	2.0	0.62	0.58	0.54	0.61	0.56	0.53	0.56	0.53
	2.5	0.66	0.63	0.59	0.65	0.62	0.59	0.61	0.59
	3.0	0.69	0.65	0.62	0.67	0.64	0.62	0.63	0.61
	4.0	0.72	0.70	0.67	0.70	0.68	0.66	0.67	0.65
	5.0	0.75	0.71	0.69	0.73	0.70	0.68	0.69	0.67
最大安装间隔: 1.4H									

设计顺序 4(维护系数: M)

根据表 1.4, 由于是保持维护状态, 取

$$M = 0.65$$

设计顺序 5(每盏灯的光通量: F)

每盏灯的光通量

$$F = 2800 \times 2 = 5600 [\text{lm}]$$

设计顺序 6(必要的灯数: N)

全室的光通量

$$NF = \frac{EA}{UM} \quad (1.16)$$

式中, N 为灯数, F 为每盏灯的光通量, E 为作业面照度。

[计算例]

根据式(1.16)

$$N = \frac{EA}{FUM}$$

所以

$$N = \frac{500 \times 150}{5600 \times 0.60 \times 0.65} = 34.3 \text{ 盏}$$

设计顺序 7(灯具排列)

考虑房间的设计来决定灯具的排列及配置。这时, 决定的灯数要不小于根据设计计算求得的灯数。

[例] 取 4 盏 \times 9 排 = 36 盏。

分配比例采用偶数盏 \times 偶数排, 在配置上比较方便。

1.6 照明实例

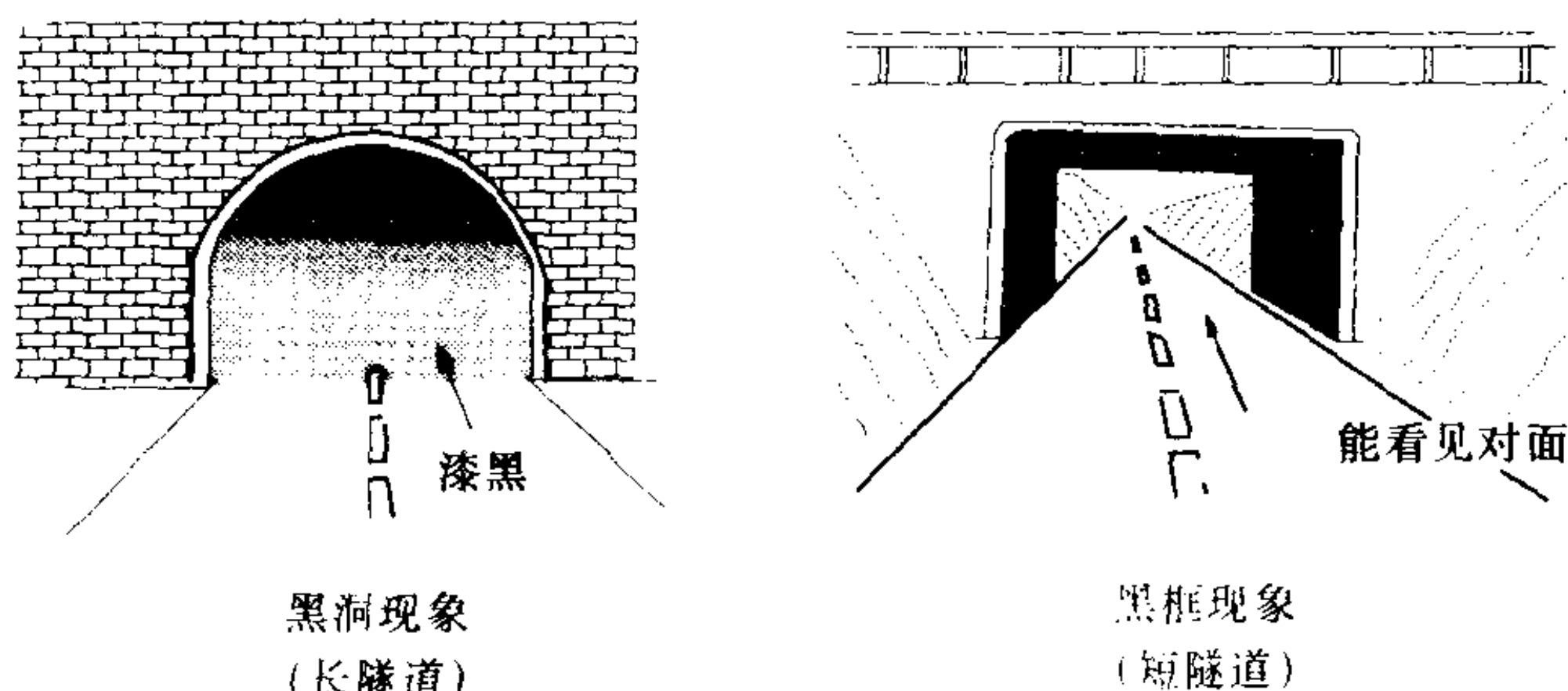


图 1.38 隧道照明(在白天也必须照明)

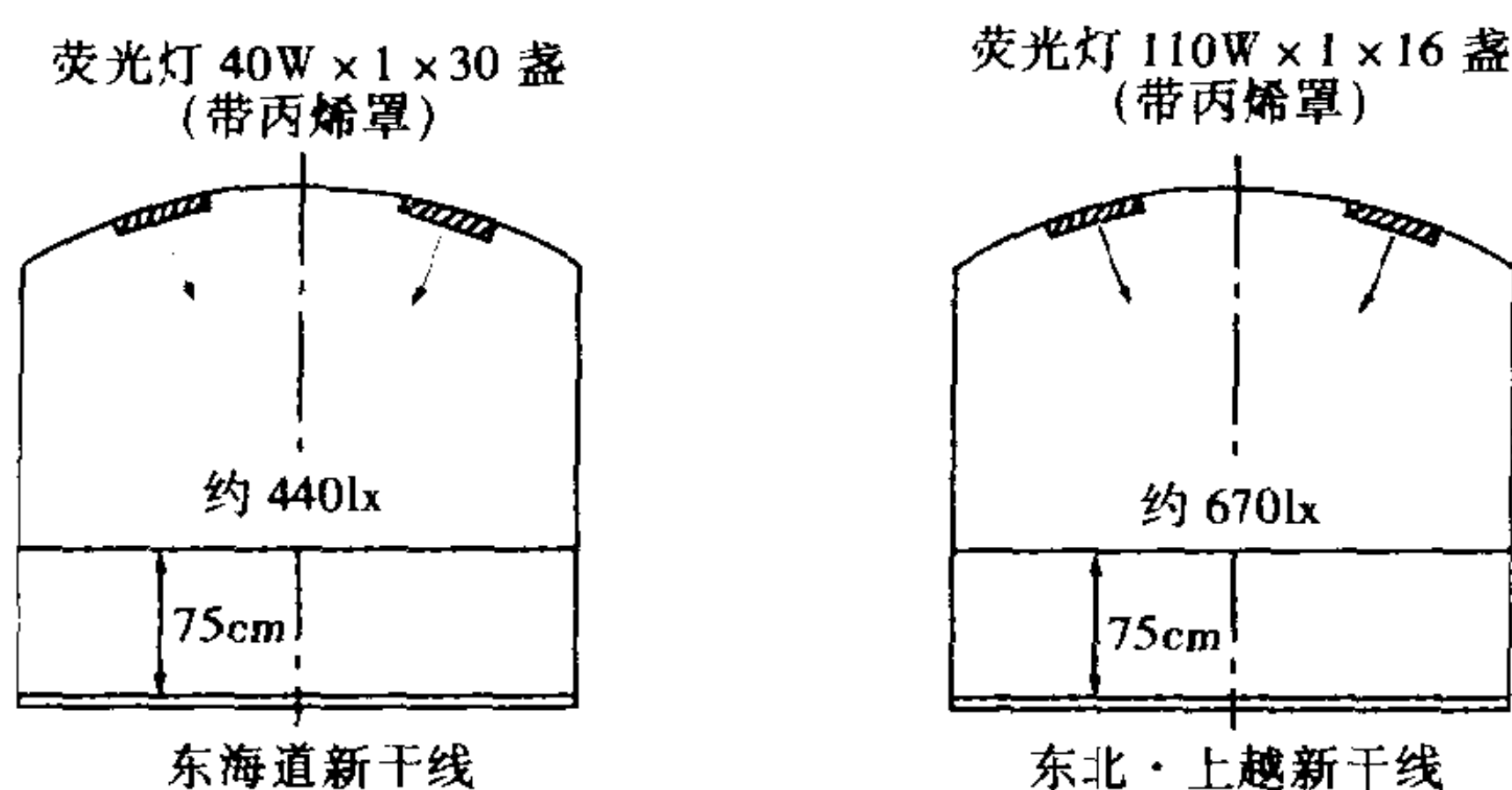


图 1.39 铁道车辆照明

1.6.1 办公室照明

一般认为,办公室的室内空间只要不产生眩光(刺眼),照度越高越好。因此,一般采用高效率的荧光灯。现在正盼望普及照明与空调的出风口或吸风口一体化的空调照明器具。另外,顶棚系统(空调、扬声器、火灾报警器、自动洒水消防器等)在超高层大楼等中起到缩短建筑工期及减少工程费用的作用(参见图 1.40)。

1.6.2 工厂照明

(a) 金属加工、机械、纤维、印刷工业

作为整体照明,采用荧光灯 40W × 2 盏用的灯罩。在高顶棚

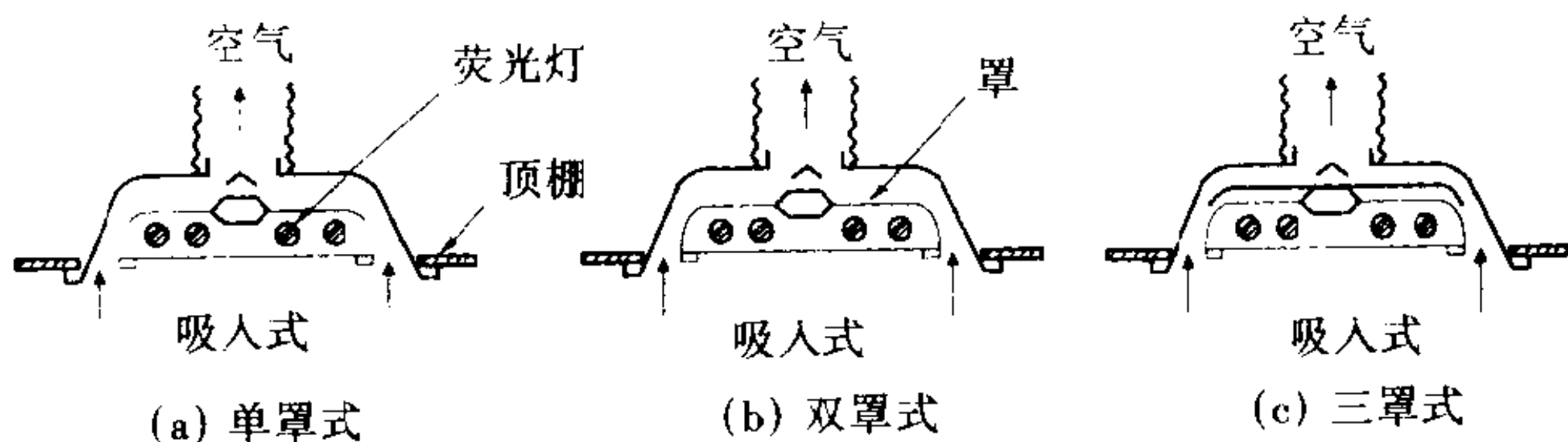


图 1.40 空调照明(建筑化照明)

的情况下,采用荧光高压汞灯或金属卤化物灯(参见图 1.41)。

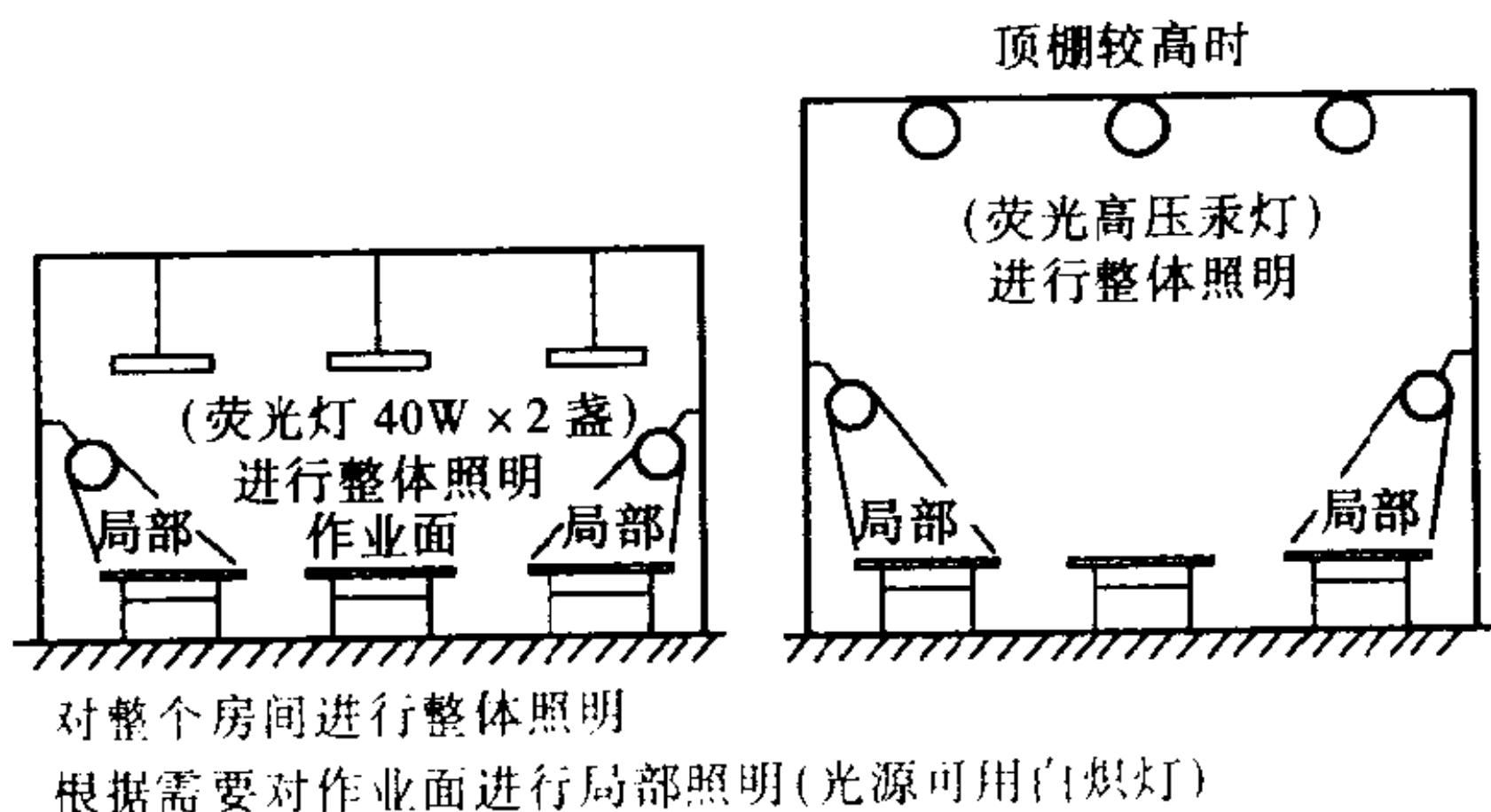
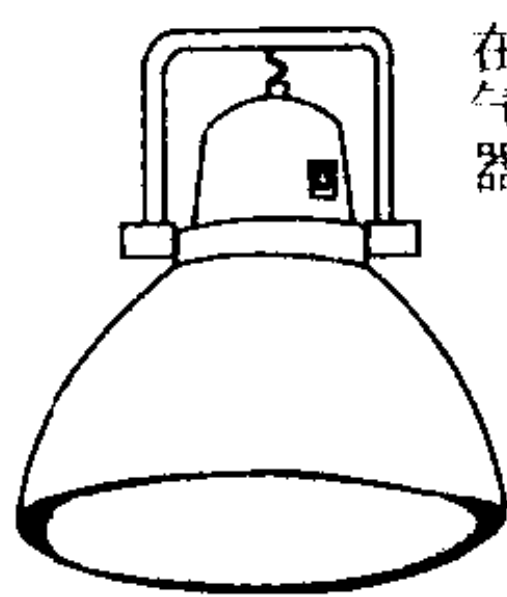


图 1.41 工厂照明

(b) 化学、制药、食品工业



在灰尘及腐蚀性
气体等容易污损
器具的场所使用

一般这类工厂的产品是潮湿的,因此要采用防水、耐酸、防湿等的照明器具。可以并用整体照明及局部照明。

图 1.42 密闭型高顶棚器具

(c) 矿山、炼铁、煤矿、窑业

多数的工作场所灰尘特别多。在发电机室及配电间采用防尘照明器具。可以是采光顶棚或开天窗的顶棚(参见图 1.42)。

1.6.3 住宅照明

(a) 光源的选择方法

① 长时间停留的房间:起居室、卧房、书斋、学习用房……

荧光灯。

② 短时间使用的场所：门厅、走廊、楼梯、厕所、盥洗室……白炽灯。

在器具的选择中，以简便、不增添麻烦为好。另外，由于器具

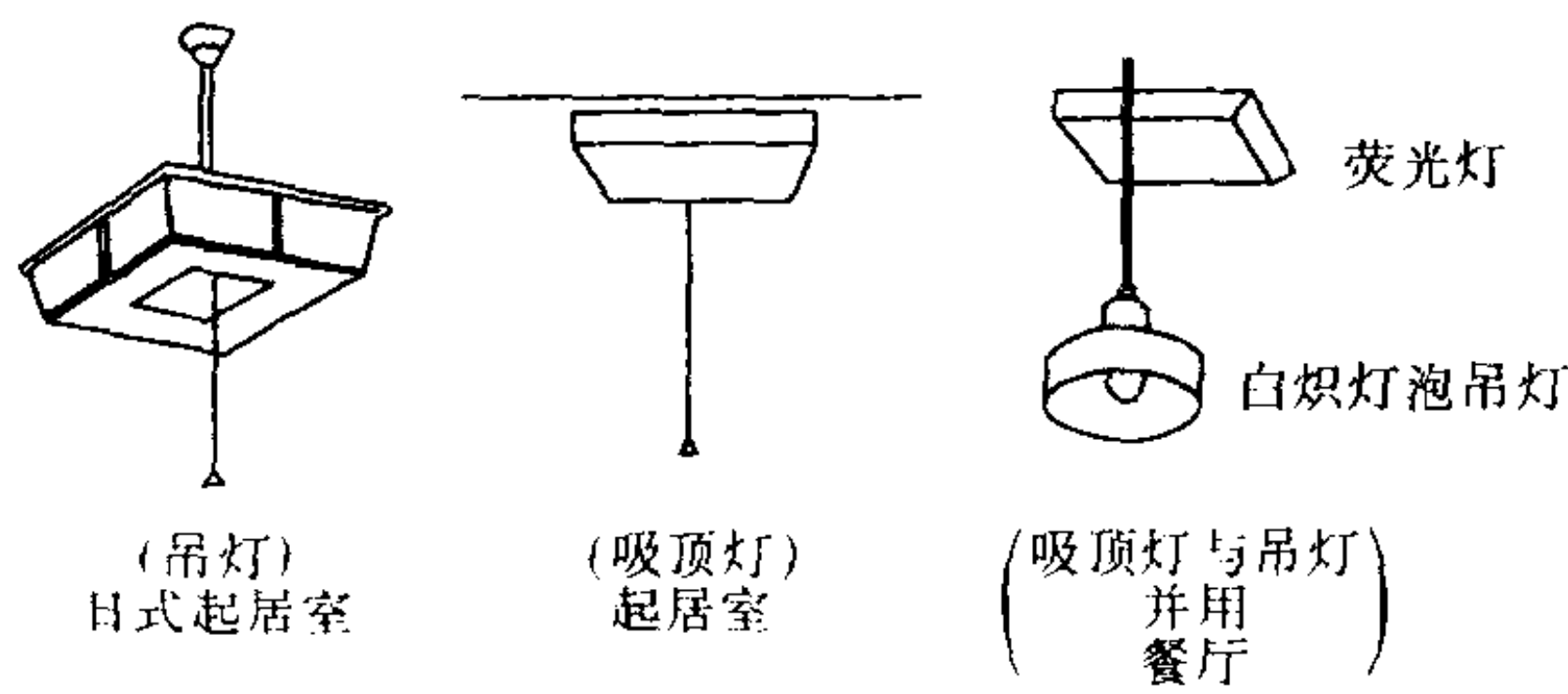


图 1.43 住宅照明

的形式多种多样，因此要充分听取住户的意见，选择协调的器具。再有，在住宅照明中，要留意的第一件事是每年大约两次的器具扫除工作。特别是在有荧光灯的情况下，由于灯管上附着了相当多的灰尘，因此去除这些灰尘是很重要的。第二是在适当的时候更换灯泡或灯管，即所谓提高维护系数。

(b) 不同房间的照度标准

表 1.6 所示为住宅照明中不同房间的照度标准。

表 1.6 住宅照明中不同房间的照度标准(JIS Z 9110-79)

No.	场所	标准照度 [lx]	备注	No.	场所	标准照度 [lx]	备注
1	起居室	300 ~ 750		8	做家务	300 ~ 750	需要时与 台灯并用
2	书斋	500 ~ 1000		9	浴室	75 ~ 150	
3	儿童室	150 ~ 300	需要时与 台灯并用	10	厕所	50 ~ 100	
4	接待室	150 ~ 300		11	走廊	30 ~ 75	
5	客厅	150 ~ 300		12	门厅	75 ~ 150	
6	餐厅 厨房	200 ~ 500		13	门	30 ~ 75	
7	寝室	300 ~ 750					

1.6.4 其它照明

(a) 室内体育设施

照明用光源有白炽灯、荧光灯、HID(高压汞灯、金属卤化物灯、高压钠灯等)。近年来,考虑到显色性,可采用混合光源。采用混合光源照明特别要留意的是,希望在被照明的部分及空间部分光线都能充分混合(参见图 1.44)。

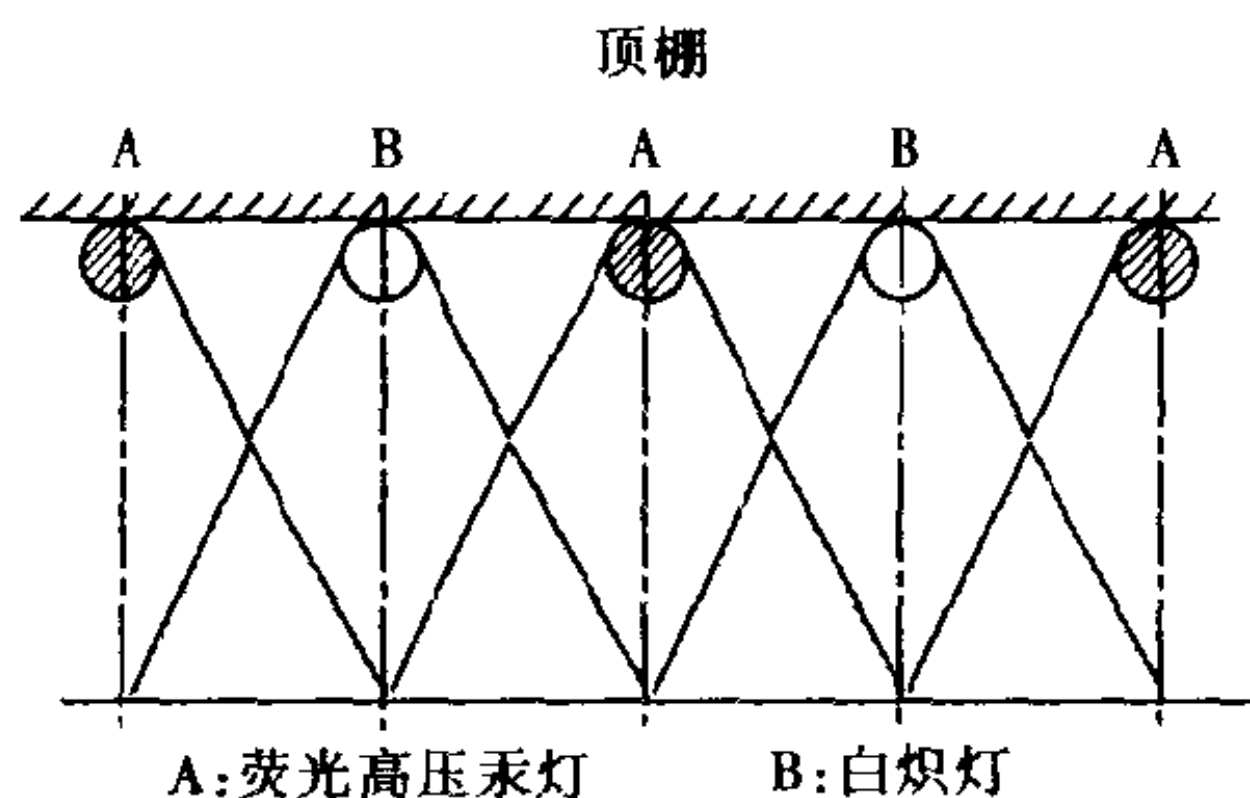


图 1.44 光线混合的概念图

(留意器具的配置,使得在空间部分光线也能充分混合)

(b) 道路照明

道路照明的目的是①防止交通事故;②防止犯罪;③城市美化。

作为照明光源采用:

防范用:20W 荧光灯(单管或双管)。

主要道路: HID, 特别是高压钠灯的使用例子不断增加(参见图 1.45)。

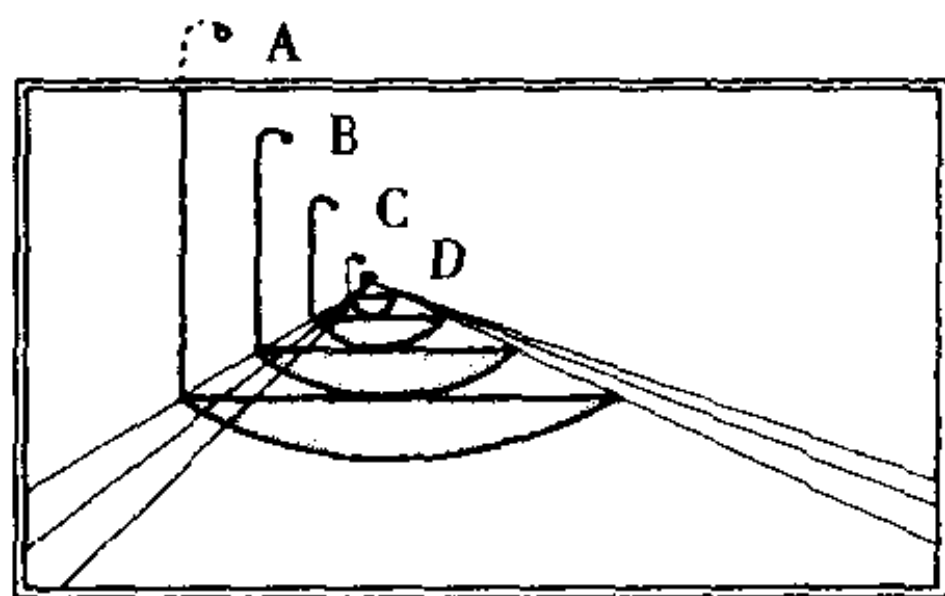


图 1.45 从驾驶员角度观看的路面

(将从驾驶员能看到的光亮度分布很好地互相重叠,就得到适当的路面光亮度)

(c) 隧道照明

作为高速公路照明的光源,除了荧光灯照明以外,大多设置低压钠灯。图 1.46 所示为入口处的照明举例。

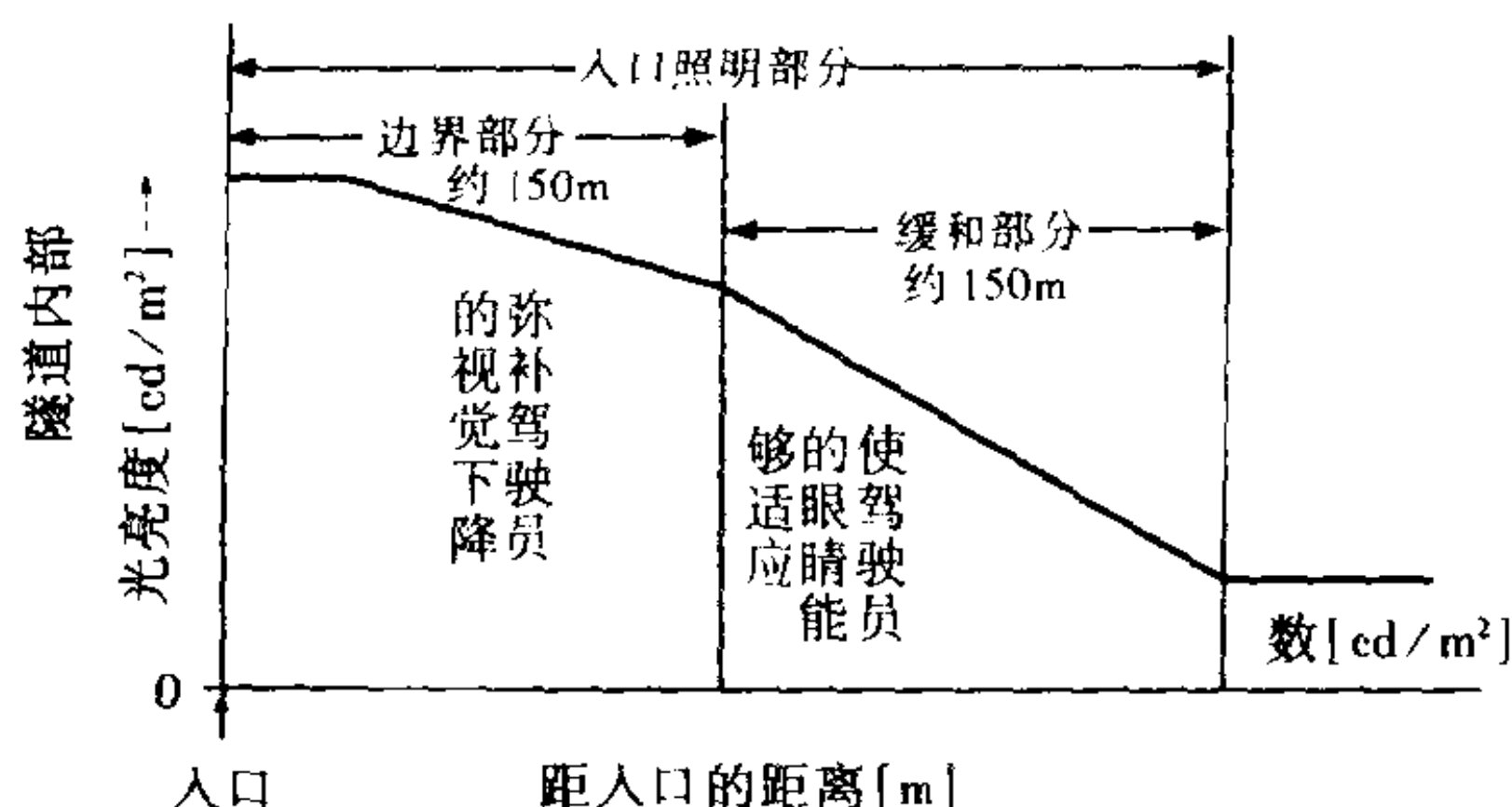


图 1.46 隧道入口照明举例

1.6.5 辐射的应用

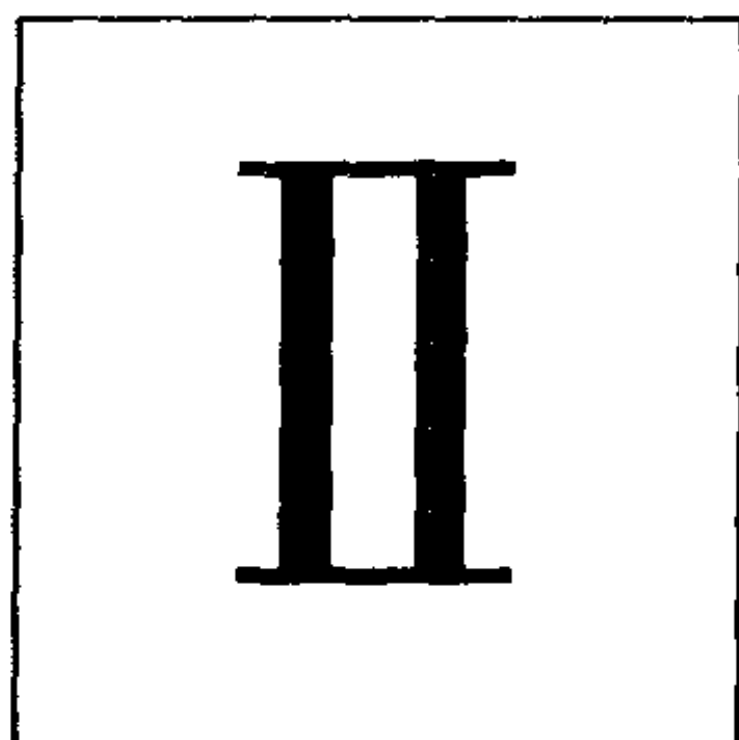
(a) 用于植物

① 作为光的能源的利用例子有兰花的无菌培养、观叶植物的栽培、君影草的加速培养、蔬菜的短期栽培等。作为光源,采用光谱分布在 450 及 650nm 具有峰值的植物培育用荧光灯。

② 具有刺激性的利用例子:短日性(日照时间变短则开花)的有菊花,也有长日性(日照时间变长则开花)的。菊花(粉红色)利用白炽灯泡在日落后点灯使其开花推迟,即让其正好在元旦开花,以提高商品价值。

(b) 用于畜业

利用白炽灯养鸡等。



电 热

将电能转变为热能电热广泛应用于工业及家庭。

其方法有: 利用焦耳热的电阻加热、利用电弧放电发出的热量的电弧加热、利用电磁感应产生的涡流热量的感应加热、利用高频磁场产生的分子摩擦热量的电介质加热、利用红外线照射的红外线加热、利用电子束的电子束加热、利用激光的激光加热等。

在本章中将学习热的基本计算及各种加热方式。另外, 还学习电热应用之一——电焊。

2.1 电热计算

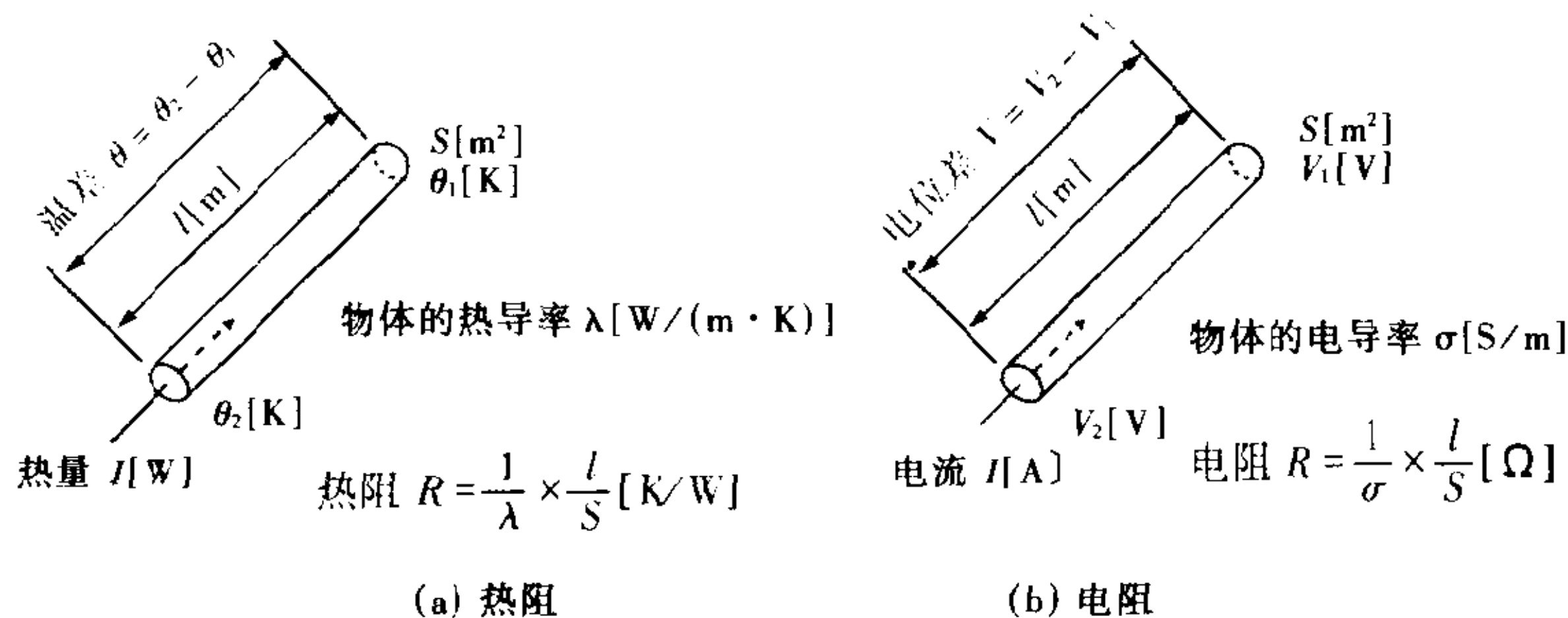


图 2.1 热阻与电阻

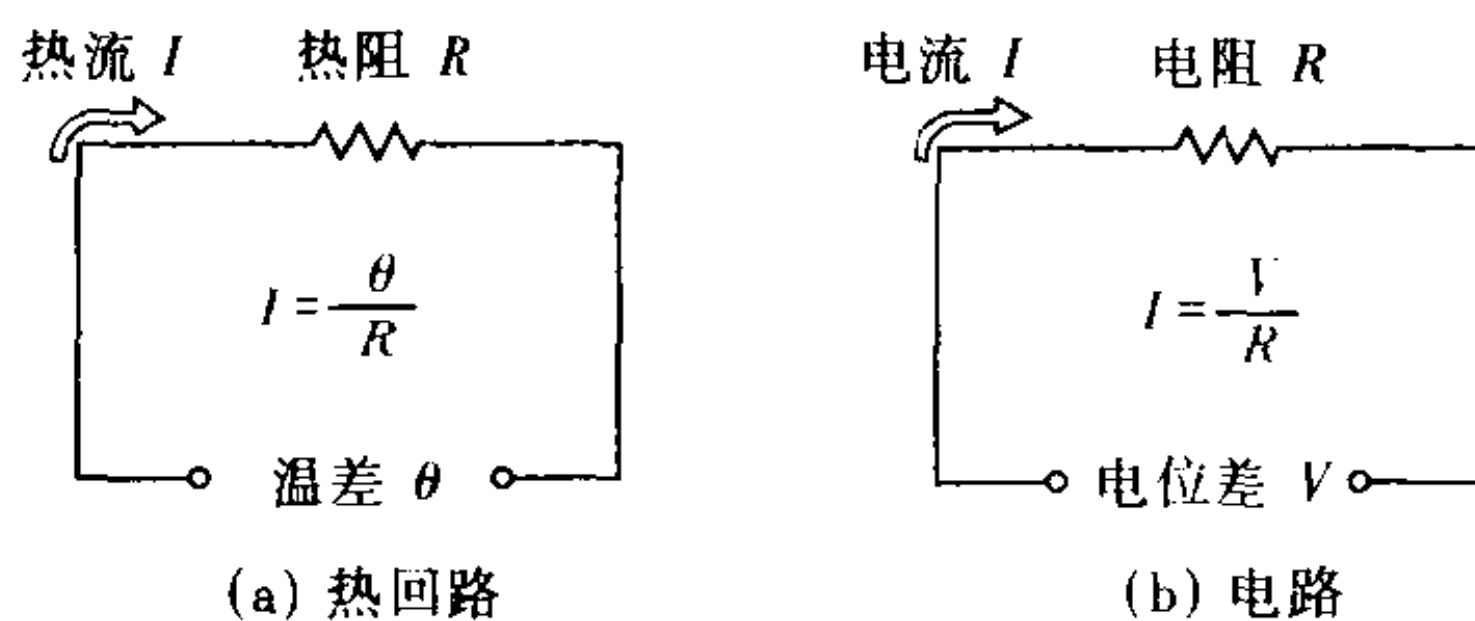


图 2.2 热回路与电路的欧姆定律

2.1.1 热回路

当考虑热量移动时, 热的流动与电流非常相似 (参见图 2.1 及图 2.2)。当考虑图 2.1 所示棒状物体时, 将单位时间流过的热量叫做热流。

棒的两端的温差越大, 热流越大; 截面积越大, 热流越大。另外, 棒的长度越长, 热流越小。

若用公式表示这一关系, 则如下所示

$$I = \lambda \times \frac{S}{l} \times \theta \quad (2.1)$$

式中, I 为热流 [W], S 为截面积 [m^2], l 为长度 [m], θ 为温差 [K]。 λ 为因材料而定的比例常数, 叫做热导率, 单位用 [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$] 表示。

$\lambda S/l$ 是由物体的大小及材料而定的数值, 若写成

$$R = \frac{1}{\lambda} \times \frac{l}{S} \quad (2.2)$$

则式(2.1)成为

$$I = \frac{\theta}{R} \quad (2.3)$$

上式表示在热回路中的欧姆定律。式中 R 叫做热阻, 单位用 $[\text{K}/\text{W}]$ 表示。

热回路与电路的对应关系示于图 2.3 中。

热 回 路	温 差 $\theta[\text{K}]$	电 路	电 位 差 $U[\text{V}]$
	热 流 $I[\text{W}]$		电 流 $I[\text{A}]$
	热 阻 $R[\text{K}/\text{W}]$		电 阻 $R[\Omega]$
	热 导 率 $\lambda[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$		电 导 率 $\sigma[\text{S}/\text{m}]$
	热 量 $Q[\text{J}]$		电 量 $Q[\text{C}]$
	热 容 量 $C[\text{J}/\text{K}]$		电 容 量 $C[\text{F}]$

图 2.3 热回路与电路的对应关系

2.1.2 热量

当将 $m[\text{kg}]$ 的物质上升 $\theta[\text{K}]$ 温度时, 设物质比热为 $c [\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$, 则所需要的热量 $Q[\text{J}]$ 如下式所示

$$Q = mc\theta \quad (2.4)$$

式中, mc 为将物质上升 1K 温度用的热量, 叫做物质的**热容量**, 单位用 $[\text{J}/\text{K}]$ 表示。

在图 2.4 的电路中, t 秒钟产生的热量 $Q[\text{J}]$ 为

$$Q = I^2 R t \quad (2.5)$$

$I^2 R$ 为电阻 R 所消耗的电功率, 若用 $P[\text{W}]$ 表示电功率, 则

$$Q = P t \quad (2.6)$$

式(2.6)的单位为 $[\text{W} \cdot \text{s}]$, 由于与式(2.5)是同一个式子, 因此可以说 $[\text{J}]$ 与 $[\text{W} \cdot \text{s}]$ 是相等的单位。

作为电能采用的 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 为

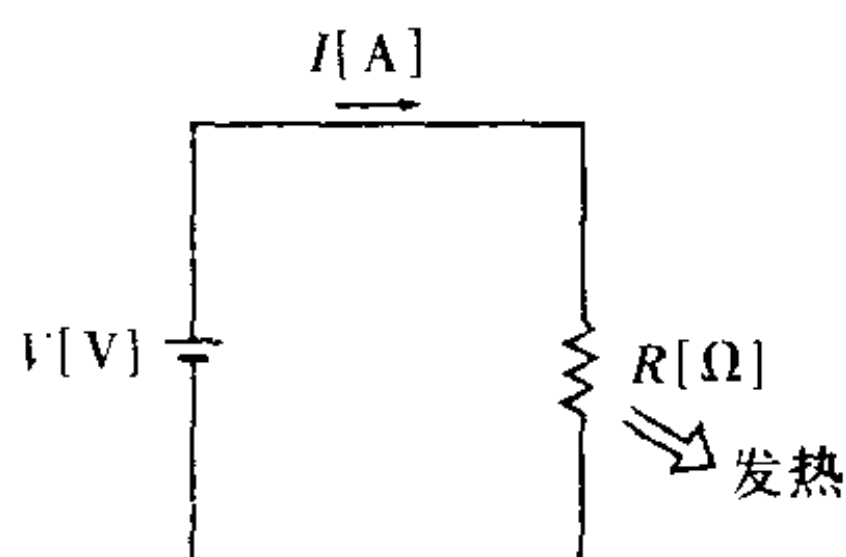


图 2.4 焦耳定律

$1\text{kW} \cdot \text{h} = 3600\text{kW} \cdot \text{s} = 3600\text{kJ}$

热量的单位采用 SI 制 (国际单位制) 表示, 另外也常采用 kcal(千卡)制。根据热功当量, 因为

$1\text{cal} = 4.186\text{J}$ (2.7)

因此,

$1\text{kW} \cdot \text{h} = 3600\text{kW} \cdot \text{s} = 3600\text{kJ} = 860\text{kcal}$

比热 c 根据式(2.7)为

$1\text{kcal}/(\text{kg} \cdot \text{K}) = 4.186\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

只要将 kcal 制的比热 c 乘以 4.186 倍即为国际单位制的比热 c 。

表 2.1 所示为 SI 制与 kcal 制的单位换算表。

表 2.1 热关系的单位换算表

单位制	SI 制	kcal 制	单位制	SI 制	kcal 制
热量	4.186kJ 1	1kcal 0.24	热导率	$1.163\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 1	$1\text{kcal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ 0.86
热容量	$4.186\text{kJ}/\text{K}$ 1	$1\text{kcal}/^\circ\text{C}$ 0.24	比热	$4.186\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 1	$1\text{kcal}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 0.24
热流	1.163W 1	$1\text{kcal}/\text{h}$ 0.86			

例题 用 40 分 [min] 熔解铸钢 1 吨 [t] 的电炉需要多大的输入电流 [A]? 这里, 设铸钢的初始温度为 30°C , 熔点为 1530°C , 比热为 $670\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, 熔解潜热* 为 $314 \times 10^3\text{J}/\text{kg}$ 。另外, 设电炉的效率为 80%, 功率因数为 80%, 供电电压为三相 200V。

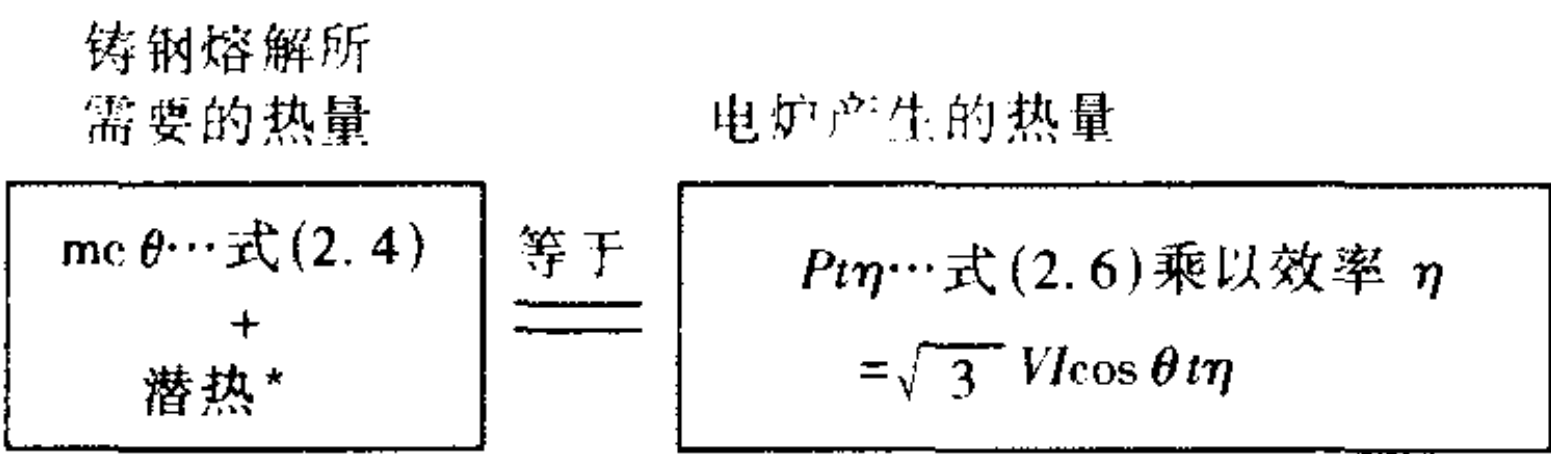


图 2.5 例题的解法

* 潜热: 固体熔解变为液体时吸收的热量。

$$\begin{aligned}\text{解: } Q &= mc\theta + \text{潜热} = 1000 \times 670 \times (1530 - 30) + 314 \times 10^3 \times 1000 \\ &= 1.32 \times 10^9 [\text{J}]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I &= \frac{Q}{\sqrt{3} \times V \times \cos\theta \times t \times \eta} \\ &= \frac{1.32 \times 10^9}{\sqrt{3} \times 200 \times 0.8 \times 40 \times 60 \times 0.8} \\ &= 2480 [\text{A}]\end{aligned}$$

2.2

电阻加热

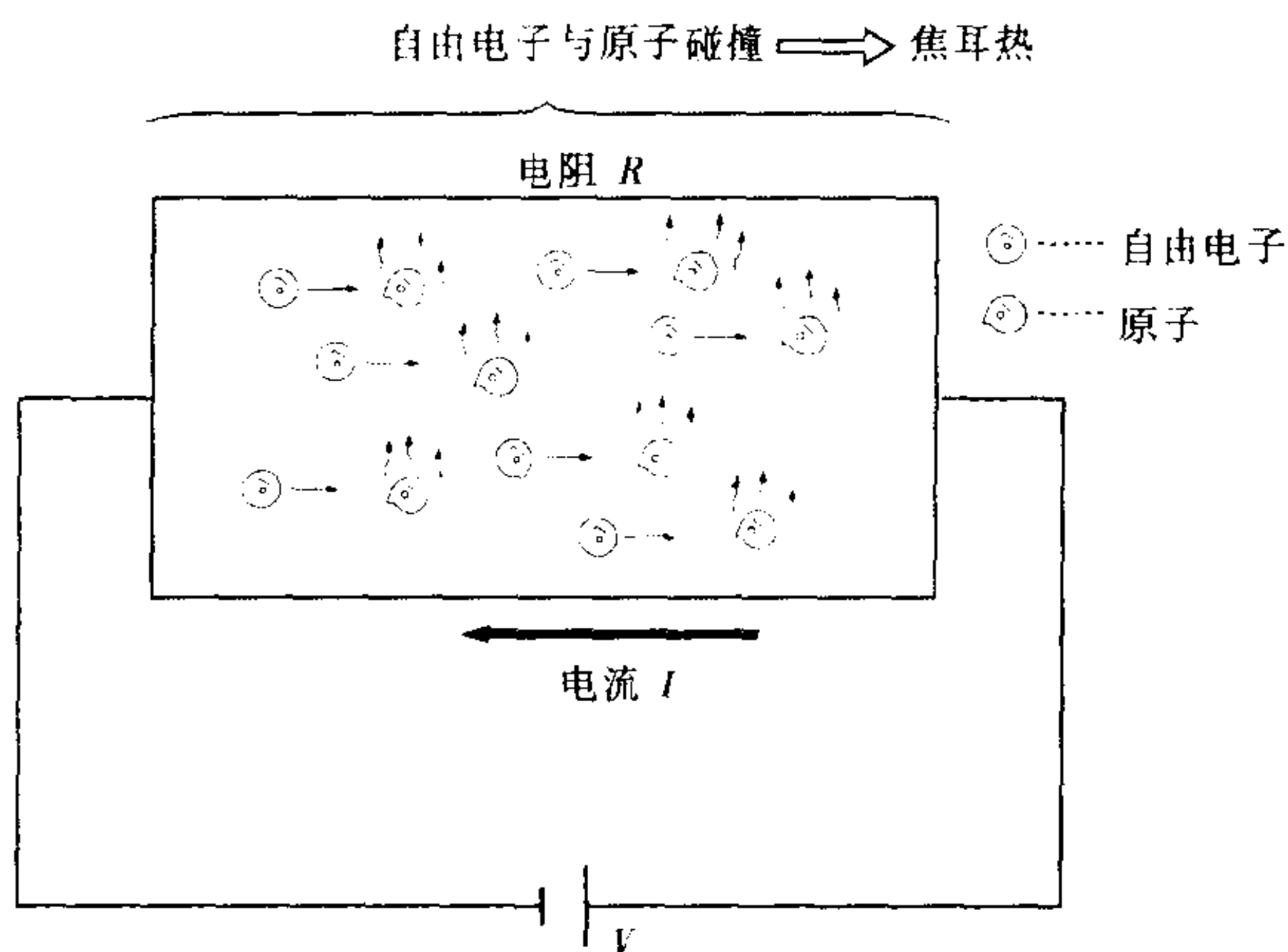


图 2.6 电阻加热的原理

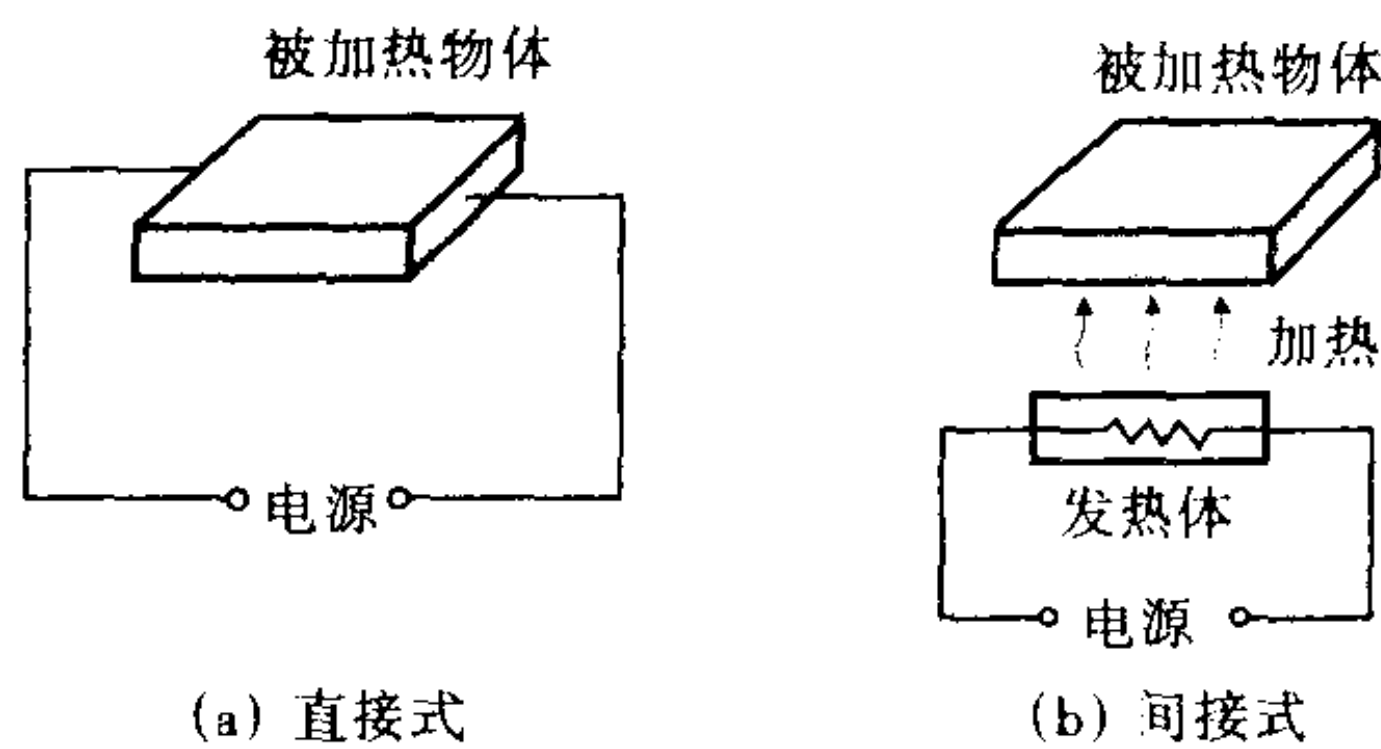


图 2.7 电阻加热的方式

2.2.1 电阻加热的原理

电阻加热是利用电阻 R 产生的焦耳热的方式。如图 2.6 所示，焦耳热是电子在电阻中移动时由于与原子碰撞产生的热振动能量而发出的。产生的焦耳热用上节的式 (2.5) 表示。

如图 2.7 所示，电阻加热有两种方式，一种是被加热物体直接流过电流而加热的直接加热方式，另一种是将发热体加热后用

该热量*对被加热物体进行加热的间接加热方式。

2.2.2 电 炉

(a) 直接式电阻炉

对被加热物体直接通以电流进行加热的方式。由于在被加热物体中产生热能,因此加热效率高。但是,被加热物体必须具有导电性,因此用途有限。

图 2.8 为石墨炉的构造。石墨炉由细长的耐火砖的炉体构成,从两端插入石墨电极,其中装入碳的烧结晶及焦炭粉。将炉的温度加热至 3000°C 左右,使非结晶形碳变为石墨结晶,得到的石墨在电弧炉中作为石墨电极使用。

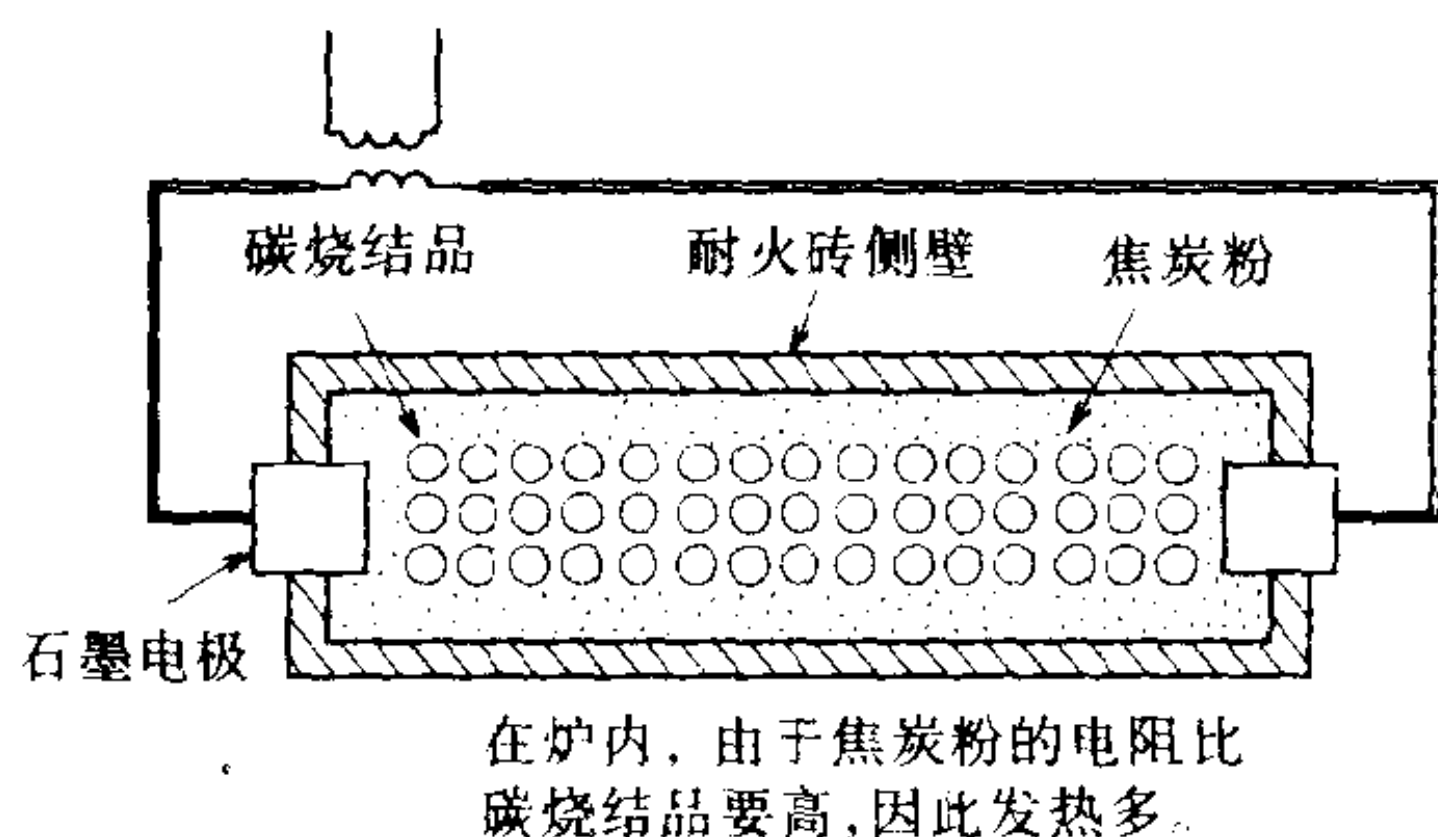


图 2.8 石墨炉

(b) 间接式电阻炉

用发热体的热量对被加热物体进行加热的方式,根据发热体的种类有下面几种。

① 发热体炉: 是将发热体安装在炉壁上利用热的传导、辐射或对流对被加热物体进行加热的炉子(参见图 2.9)。发热体中有金属发热体及非金属发热体。金属发热体使用镍铬合金丝或铁铬合金丝,能够加热至 1000°C 左右,非金属发热体使用碳化硅,能够加热至 1500°C 左右。

② 碳粒炉: 如图 2.10 所示,是将放在电极间的碳粒作为发热体的炉子,能够加热至 1800°C 左右。被加热物体或者埋在碳粒

* 热的传递方法有传导、辐射及对流。

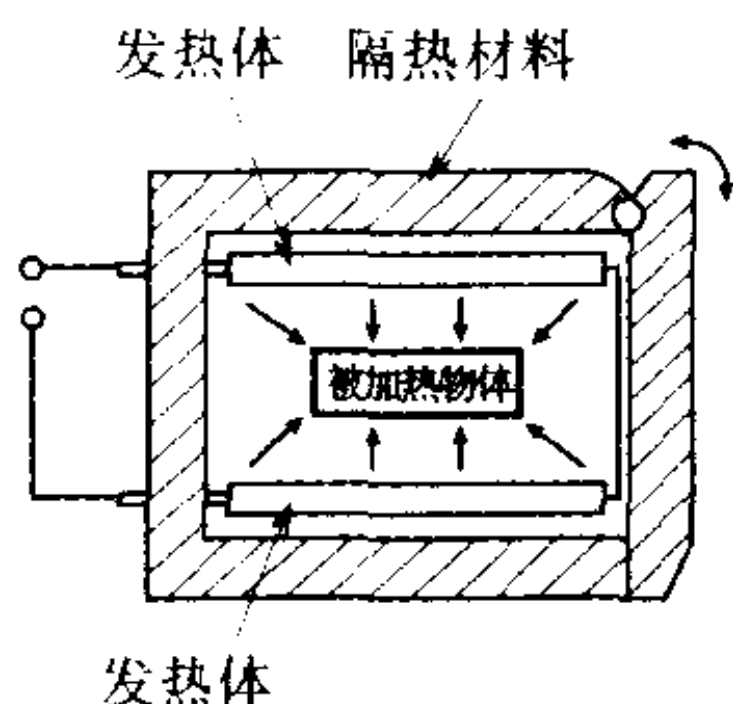


图 2.9 发热体炉

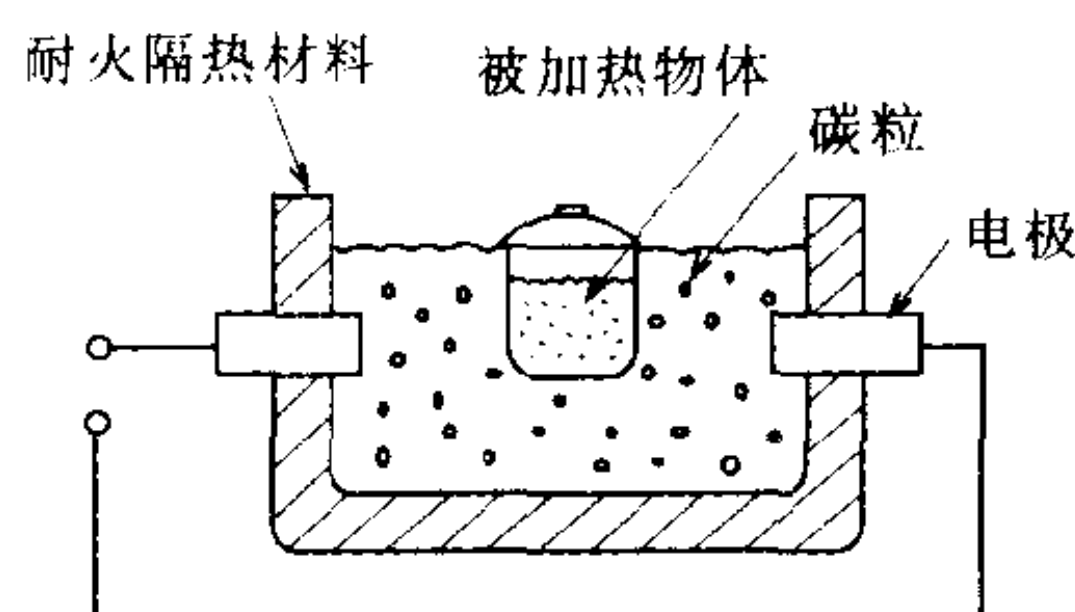


图 2.10 碳粒炉

中进行烧结,或者放在坩埚中加以熔融。

③ 盐浴炉:如图 2.11 所示,是将放在电极间的熔融盐作为发热体的炉子,能够加热至 1300°C 左右。被加热物体由于浸渍在熔融盐中而加热,因此不与空气接触而防止氧化,用于金属的热处理。

按照炉的构造将间接式电阻炉分为:

连续式:是将被加热物体连续出入炉中,图 2.12 为传送带炉的构造。

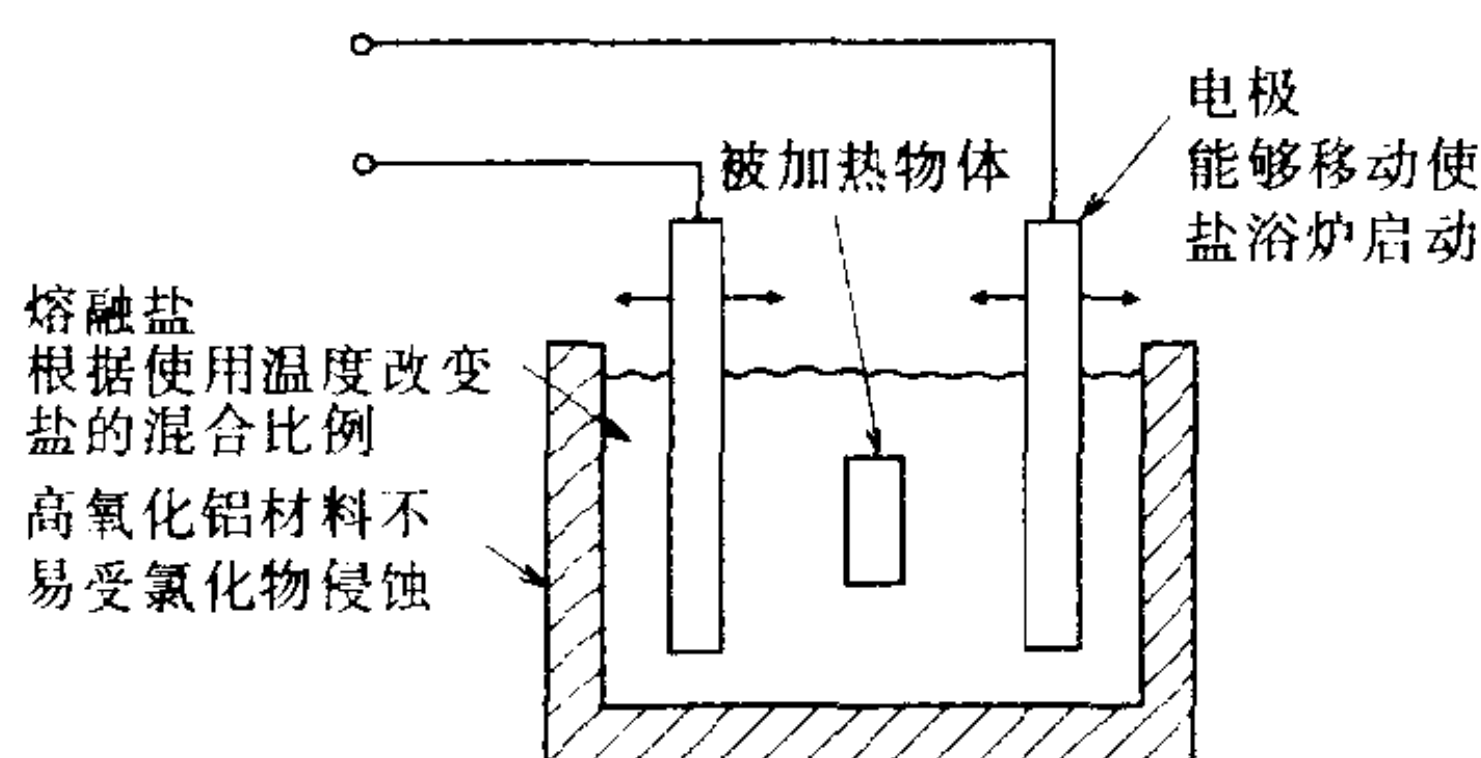


图 2.11 盐浴炉

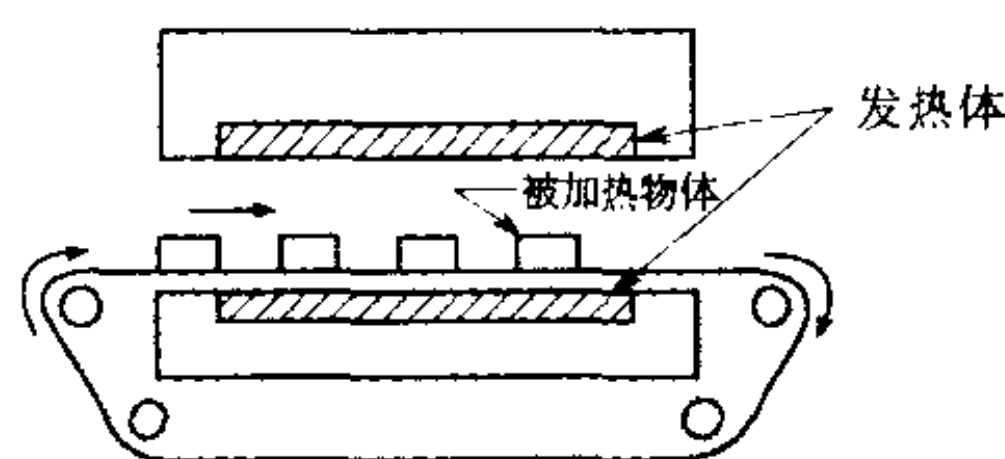


图 2.12 传送带炉

间歇式:被加热物体的位置是固定的。

2.2.3 家电产品中的应用

家电产品中的加热是间接式加热,采用密闭型发热体(参见图 2.13)。密闭型发热体中有的将卷绕的发热丝装在石英管内(参见图 2.14),有的如室内加热器是把发热体装在金属外壳内,并用云母绝缘(参见图 2.15),还有的是将电热丝装在保护管内,其间填充绝缘材料(参见图 2.16)。

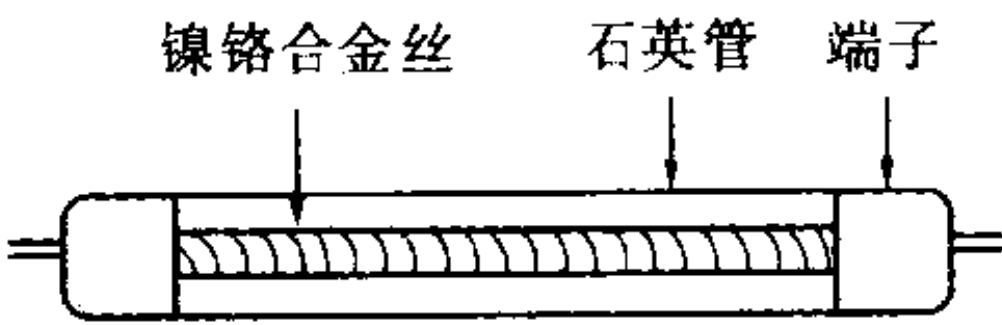


图 2.14 石英管发热体

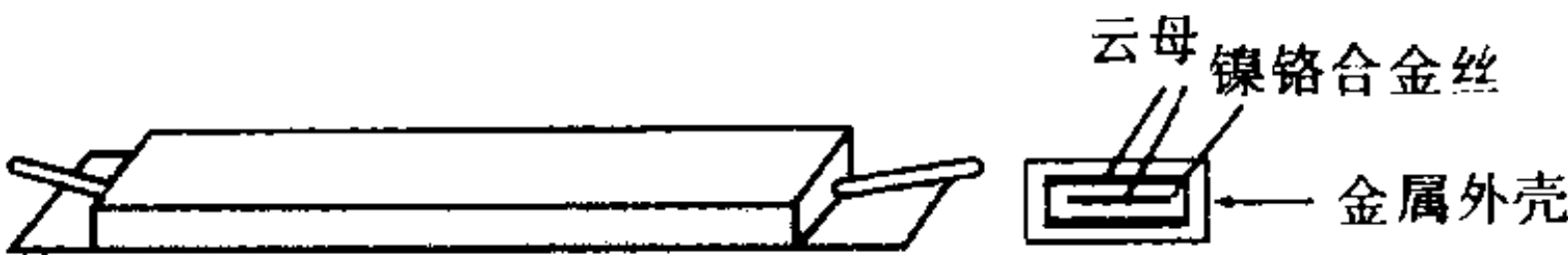


图 2.15 室内加热器

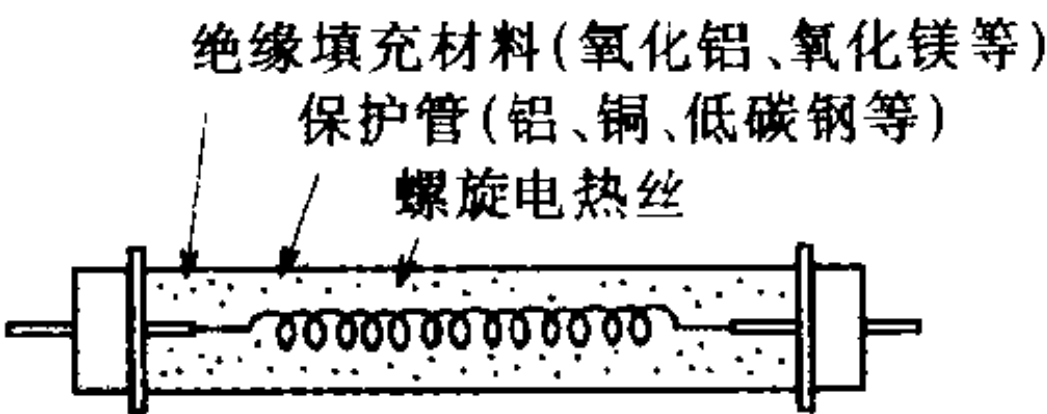


图 2.16 铠装电热丝

2.3 电弧加热

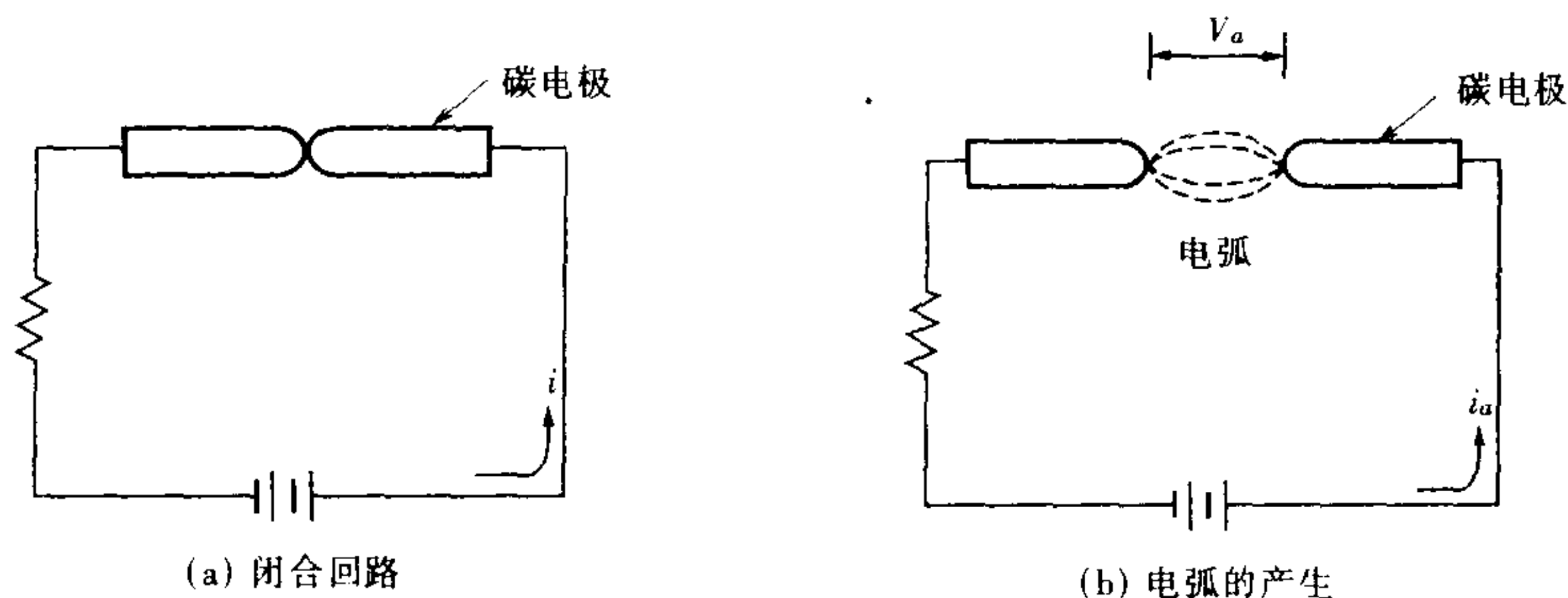


图 2.17 电弧放电的原理

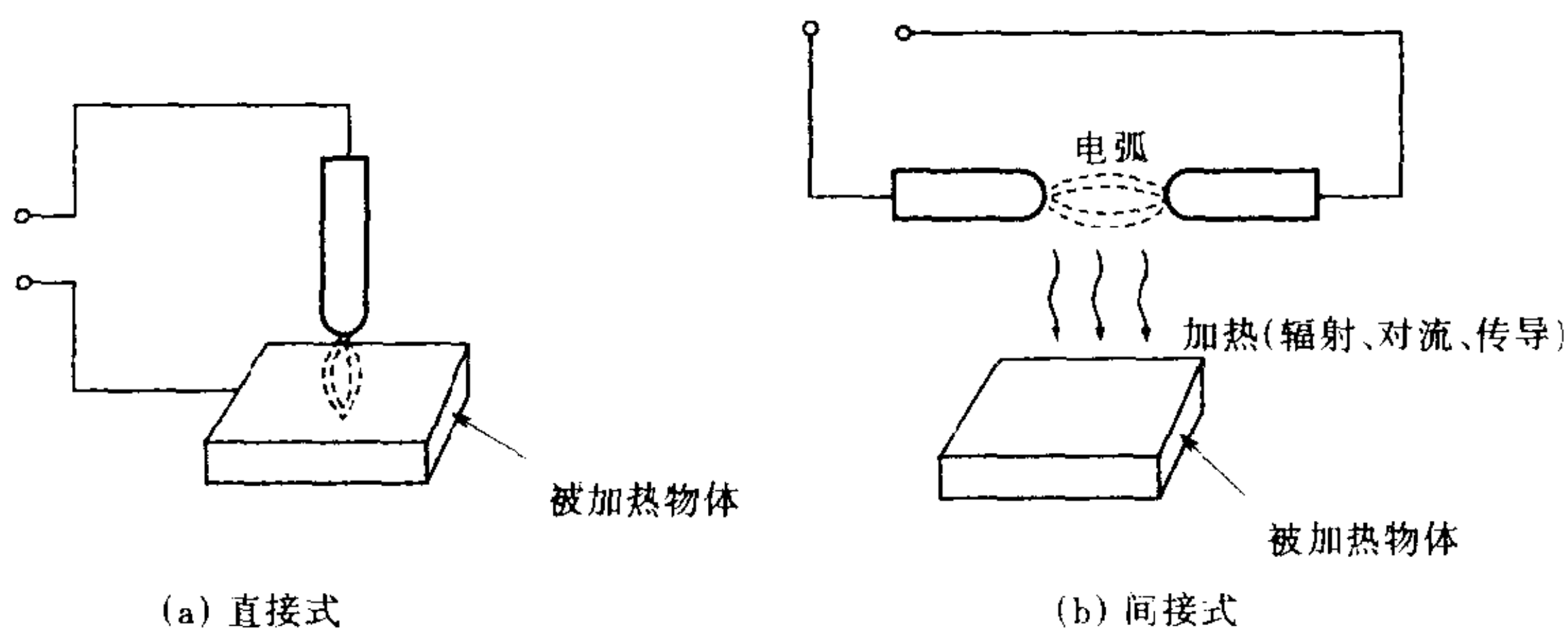


图 2.18 电弧加热的方式

2.3.1 电弧加热的原理

用两个碳电极构成如图 2.17(a) 所示的回路，当从电流流动的状态将电极分开，则在电极间产生电弧，如图 (b) 所示。由于在电极间通过电弧有电流流动，因此回路的电流将持续。空气中的电弧温度为 $3000 \sim 6000\text{K}$ 左右，电弧加热是利用该放电部位产生的大量热量进行的。

电弧加热有两种形式，其中被加热物体为电极之一的是直接式电弧加热，而被加热物体接受电弧热量后加热的是间接式电弧加热(参见图 2.18)。

电弧放电是低电压大电流，其特性为图 2.19 所示的负阻特性。

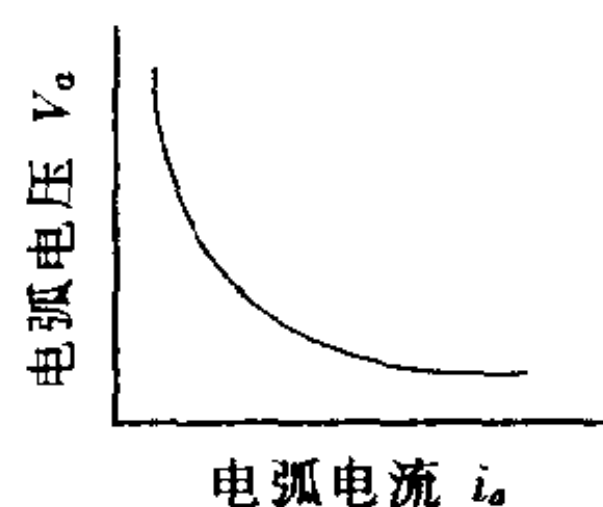


图 2.19 电弧特性

2.3.2 电弧炉

(a) 直接式电弧炉

其是电弧电流流过被加热物体中的炉子。图 2.20 为用电弧热量熔解废铁等原料的炼钢用电弧炉，叫做埃鲁炉。在埃鲁炉中，被加热物体处于中点位置，电流沿电极→被加热物体→电极的路径流动。打开炉顶放入原料，炼好之后将整个炉体倾斜，从熔液取出口取出熔液。通电刚开始后，由于电弧在废铁等原料上飞蹿使之熔解，因此容易产生短路，为此通过电极的升降进行功率的调整。原料一旦熔解，则电流的变动逐渐比较稳定，电极的升降也变得缓和。

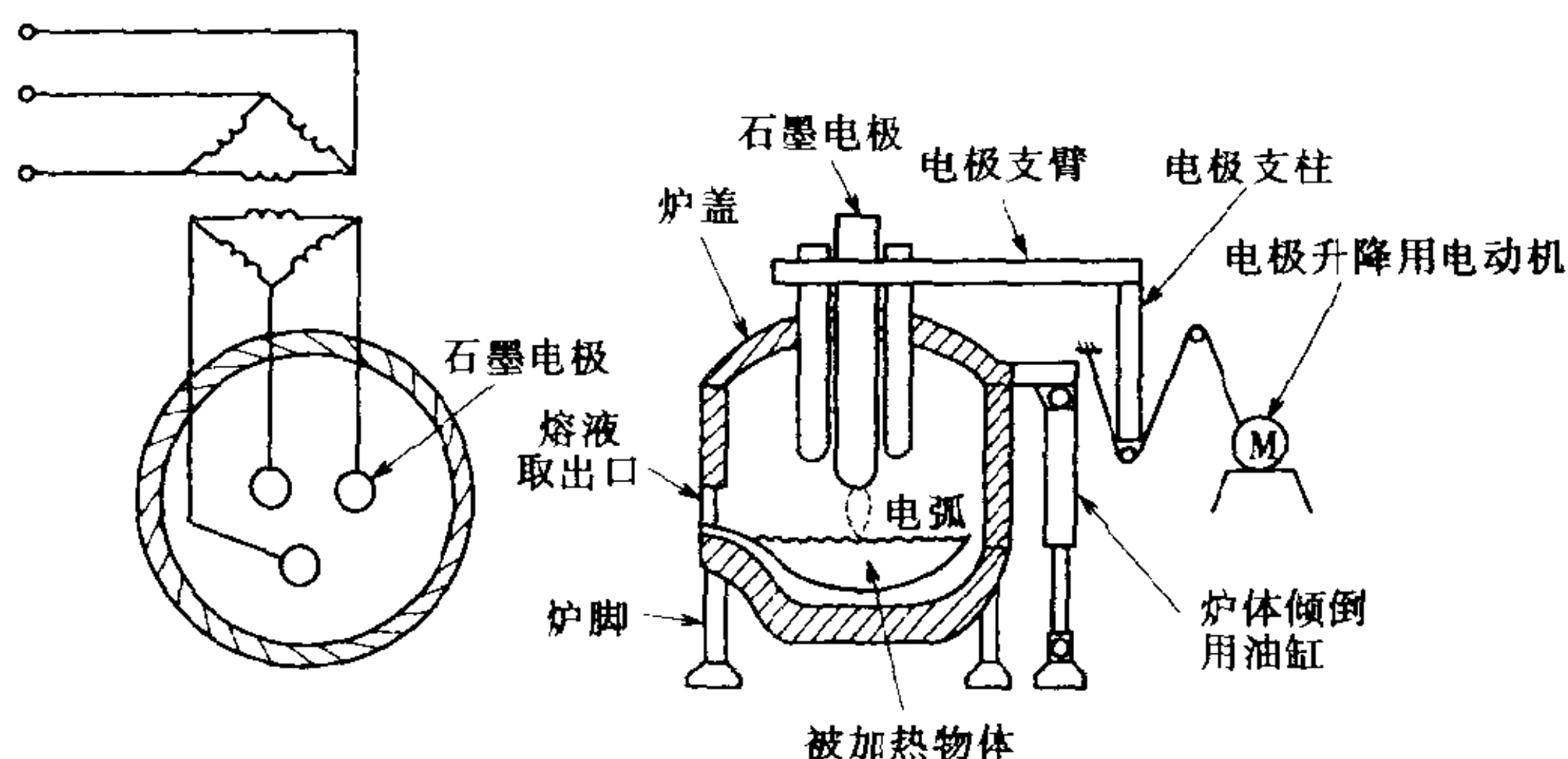


图 2.20 埃鲁炉的构造

图 2.21 为碳化钙炉。碳化钙炉是以石灰石及煤为原料，产生下列反应：



生成的碳化钙积存在炉底，CO 向空气中放出。碳化钙炉的电极埋在被加热物体内，主要是利用电极间的原料电阻热量进行加热的。

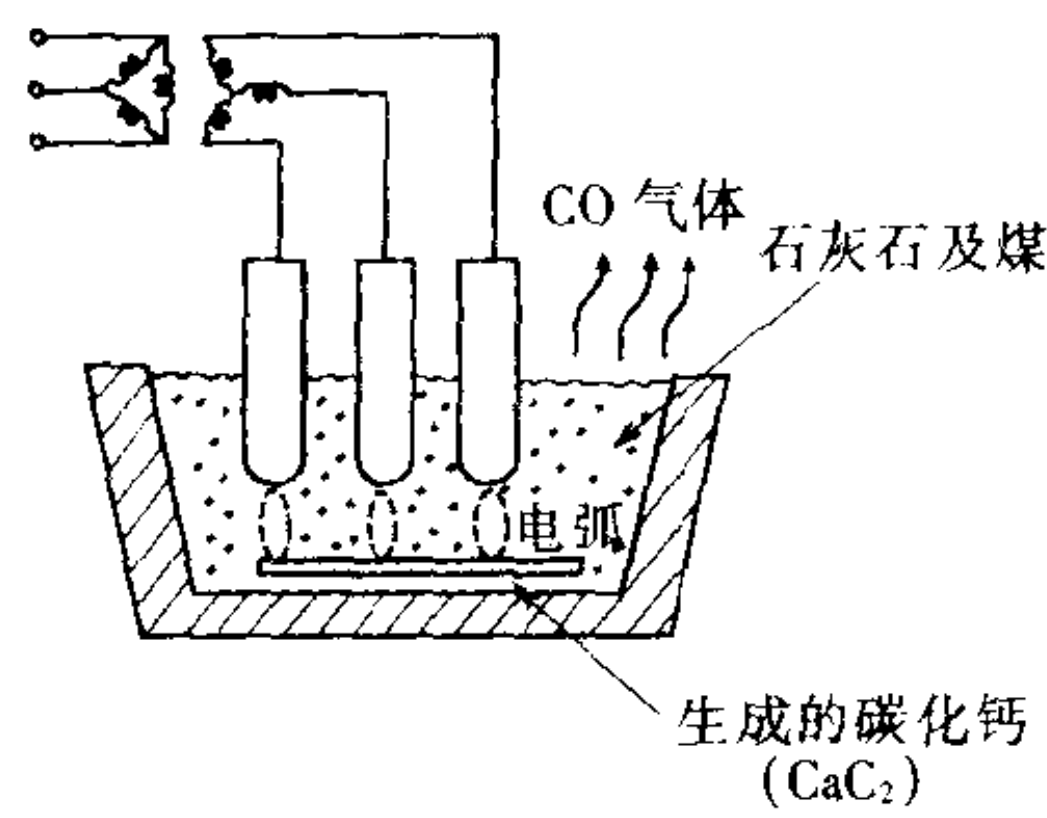


图 2.21 碳化钙炉

(b) 间接式电弧加热

电弧电流不流过被加热物体的加热方式。图 2.22 为用于铜或其合金熔解用的摇动式电弧炉。利用相对的两根石墨电极产生的电弧热量，对被加热物体间接进行加热熔解。原料从圆筒表面的取出口放入。为了使熔液的成分及温度均匀，使圆筒形的炉体以电极为中心往复转动。

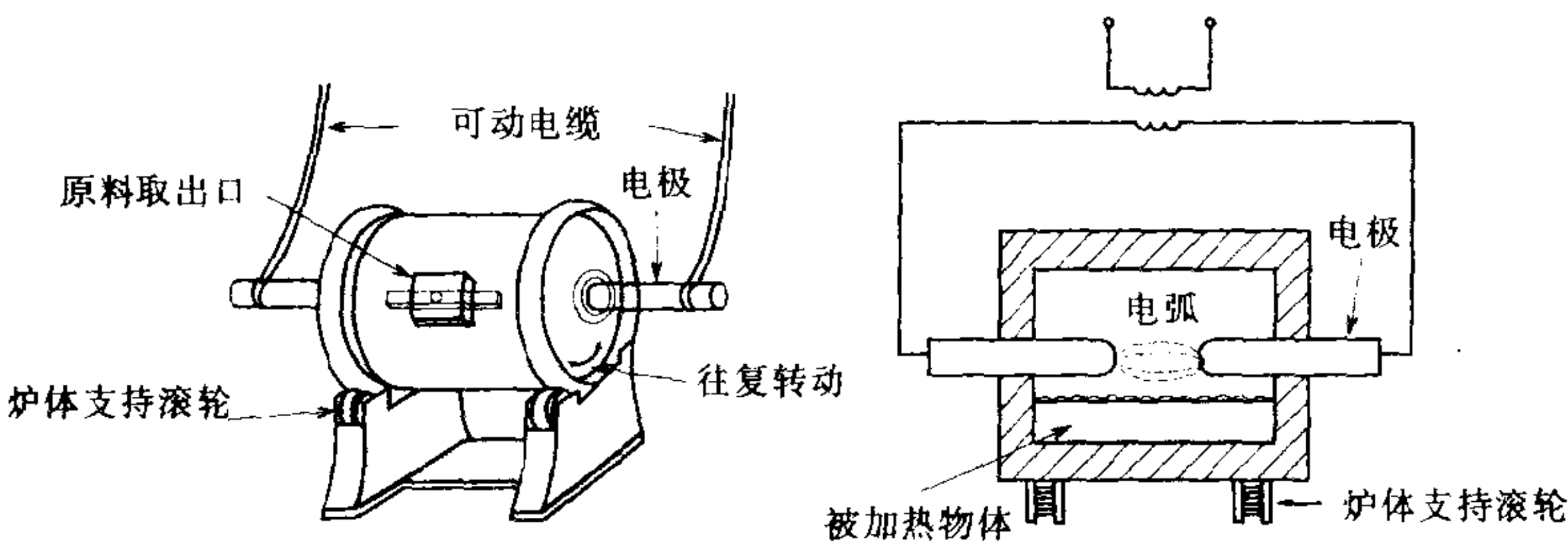


图 2.22 摇动式电弧炉

2.4

感应加热

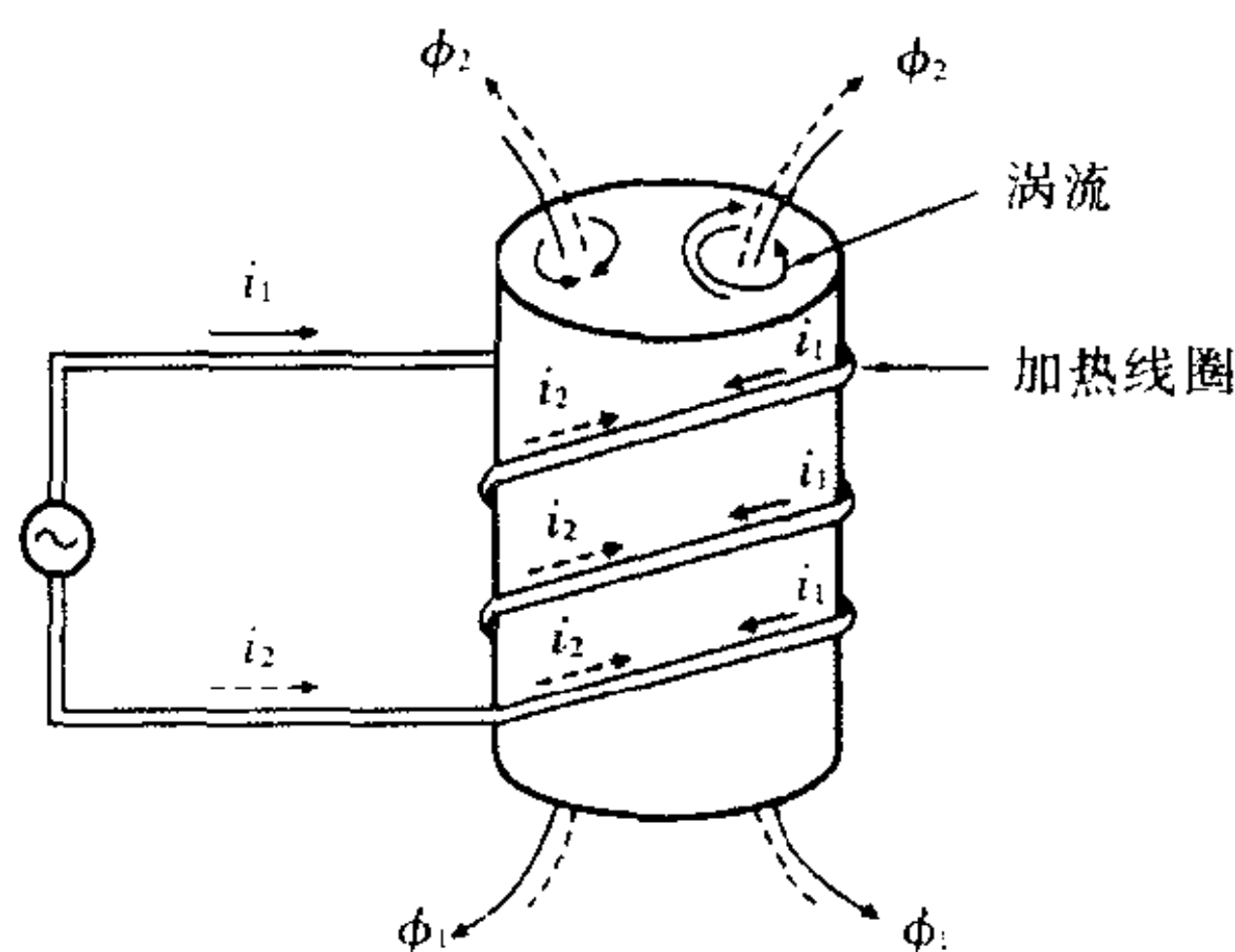


图 2.23 感应加热的原理

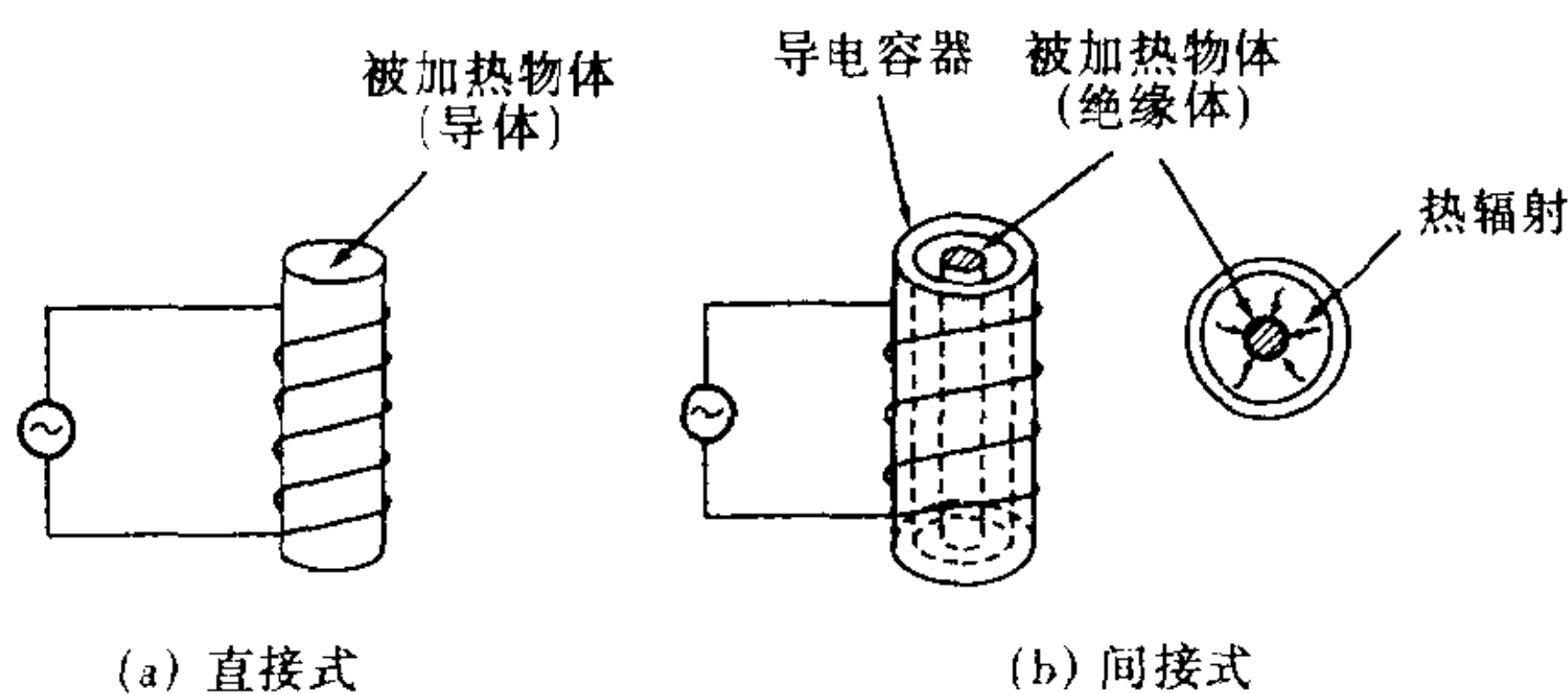


图 2.24 感应加热的方式

2.4.1 感应加热的原理

如图 2.23 所示，若将金属棒放在与交流电源相连的线圈中，则由于电磁感应的作用，在金属棒内产生涡流。利用该涡流产生的焦耳热进行加热的方法就是感应加热。感应加热必须有产生磁场的加热线圈。

如图 2.24(a) 所示，放在线圈中的金属棒本身为被加热物体，这种感应加热方式叫做直接加热方式，被加热物体必须是导体。为了对绝缘体进行感应加热，则如图 (b) 所示，采用间接加热方式，即将被加热物体放在导电容器中，对容器进行感应加热，利用其散发的热量对被加热物体进行加热。

2.4.2 感应炉

感应炉用来熔解金属或使熔解的金属温度加以保持或升温。

(a) 坩埚形感应炉

图 2.25 为坩埚形感应炉。坩埚中的熔解金属在感应电流与磁场的电磁力作用下，熔液得到充分搅拌。感应线圈周围的铁芯用来减少漏磁通。

坩埚形感应炉按电源频率分为低频感应炉及高频感应炉。低频感应炉使用工频，用于铸铁熔解、保温及升温，高频感应炉使用 $150 \sim 10\text{kHz}$ 的频率，用于铁系、非铁金属及工业废弃物的熔解。

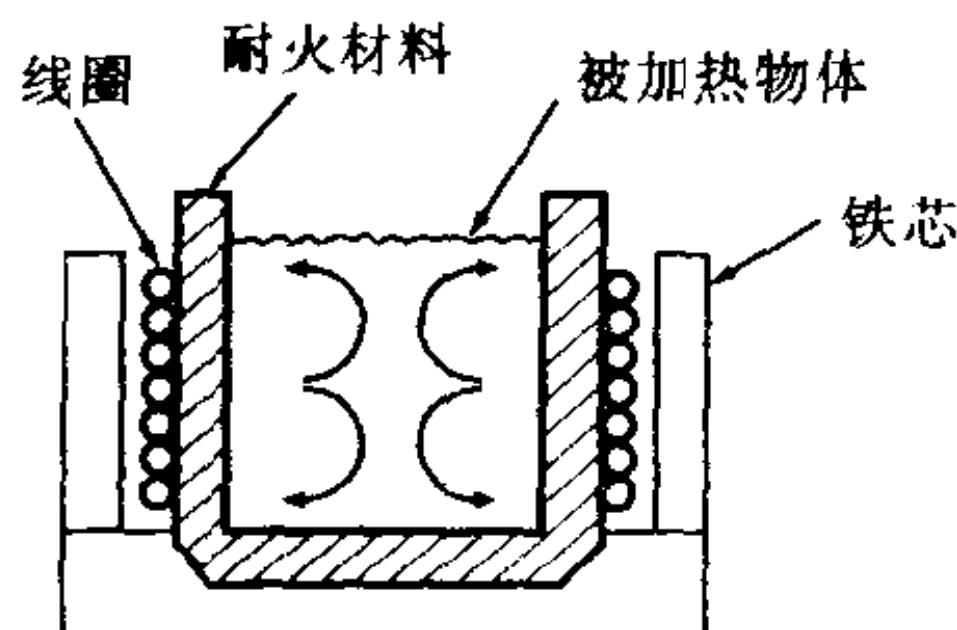


图 2.25 坩埚形感应炉

(b) 沟槽形感应炉

图 2.26 为低频 ($50 \sim 60\text{Hz}$) 下使用的沟槽形感应炉。如图(a)所示，相当于变压器二次绕组的部分是熔解的金属，利用二次绕组的短路电流进行加热熔解。

在电磁力的作用下，熔液自动进行搅拌。但若这样的作用过大，则熔液的中部变细，如同变压器的二次绕组断开。为此，加热部分的二次回路做成 U 字形的沟槽形状，利用上部熔液的重量来防止这种情况。

使用沟槽形感应炉的要求：

- ① 启动时必须有熔液；
- ② 必须有剩余熔液；
- ③ 炉内不能空。

这种感应炉在沟槽中必须充满熔液，不适合断续运行或每次

熔解要更换被加热材料的运行。

但是, 由于在沟槽中总是充满熔液, 因此从电路上来看是恒阻抗, 电效率高, 可用于熔解温度低的非铁金属 (黄铜或锌等) 的熔解及铸铁的保温。

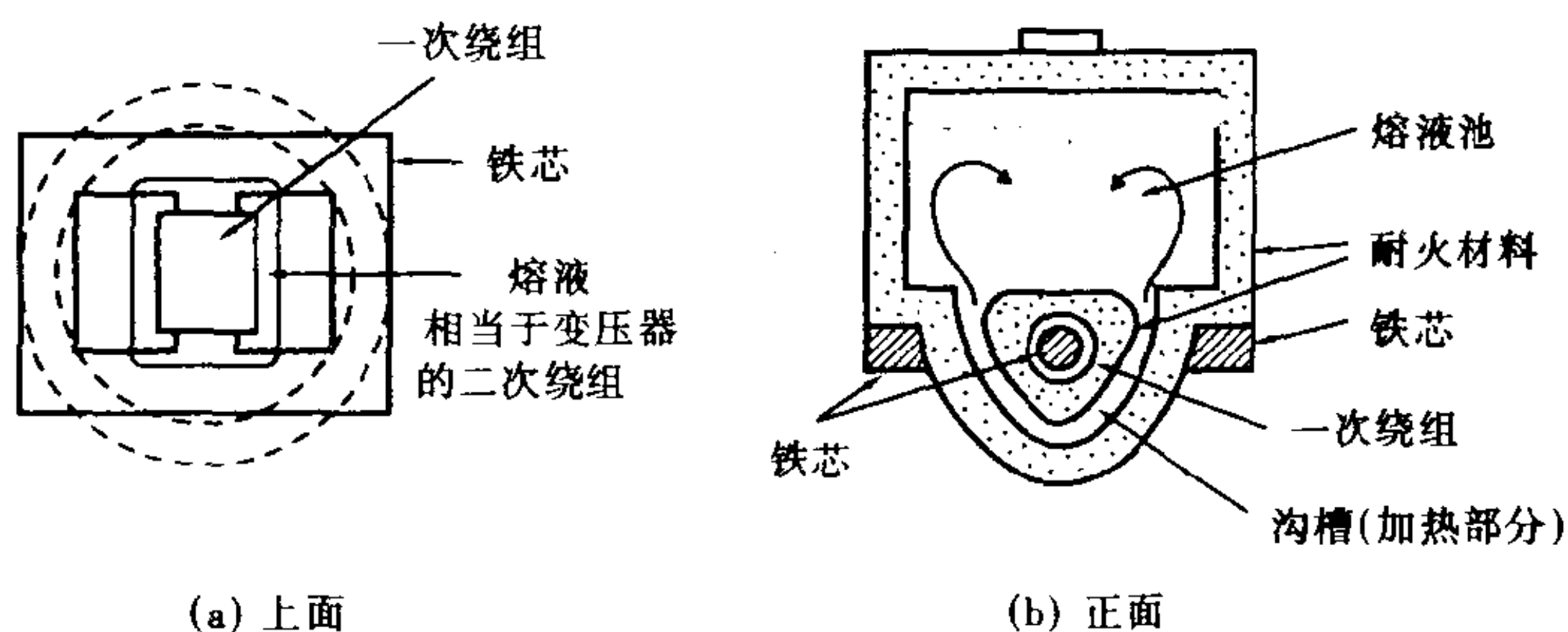


图 2.26 沟槽形感应炉

2.4.3 高频淬火

若将被加热物体放入线圈内, 则由于趋肤效应, 被加热物体内的涡流分布为频率越高, 渗透的深度越浅, 越集中在表面。这种趋向, 频率越高越显著 (参见图 2.27)。

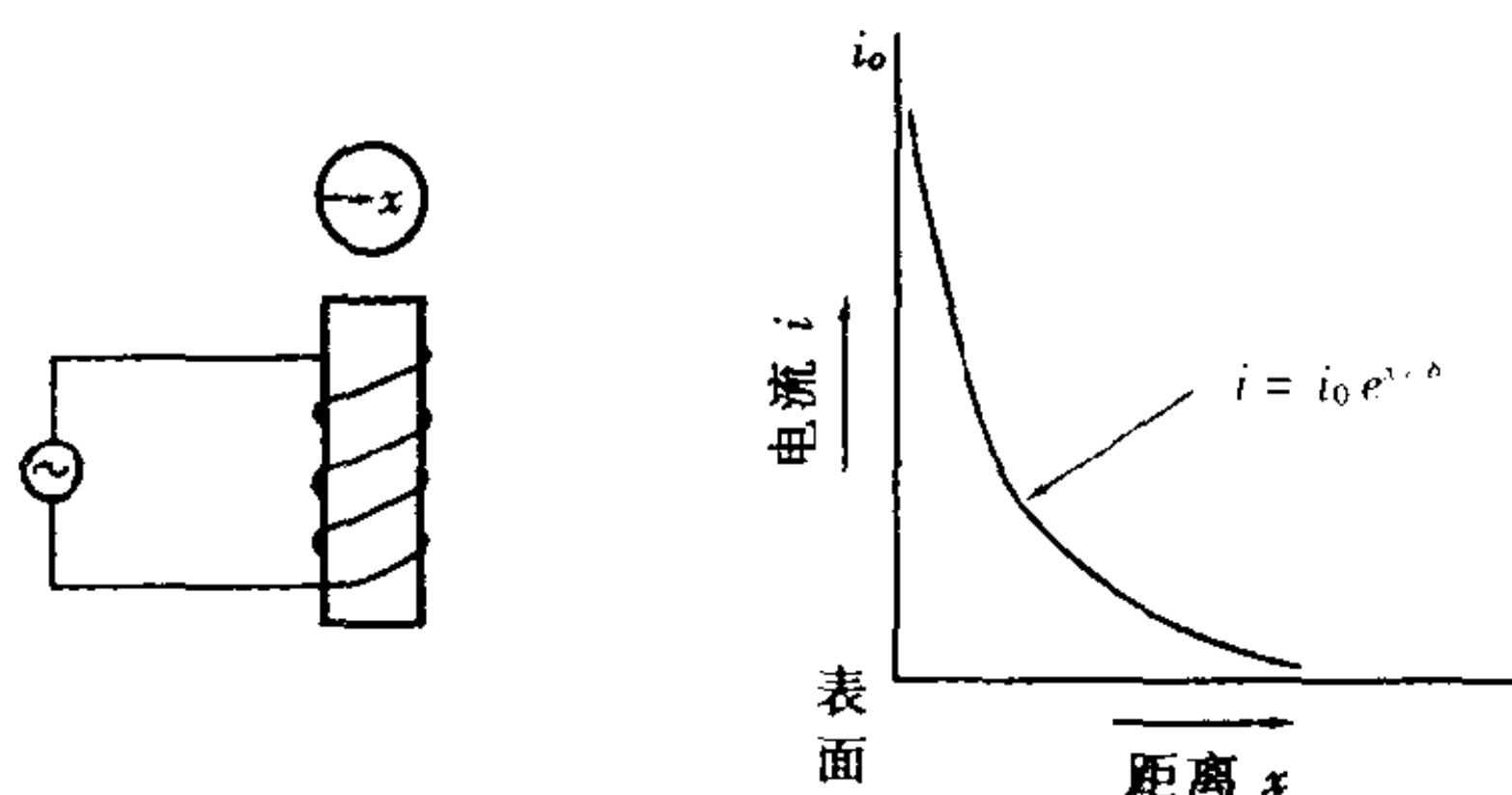


图 2.27 被加热物体内的电流分布

设频率为 $f[\text{Hz}]$, 磁导率为 $\mu[\text{H/m}]$, 电导率为 $\sigma[\text{S/m}]$, 则渗透的深度 δ 为

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu \sigma}}$$

δ 将取决于材料及频率。因此, 通过选择适当的频率, 能够进行仅

加热表面的局部加热。

若将钢加热至 800℃ 左右的温度,再将其骤冷,则能够得到耐磨损性强的钢(淬火)。但是,对于机械零件,由于要求内部柔韧而表面坚硬,因此必须进行表面淬火(参见图 2. 28)。

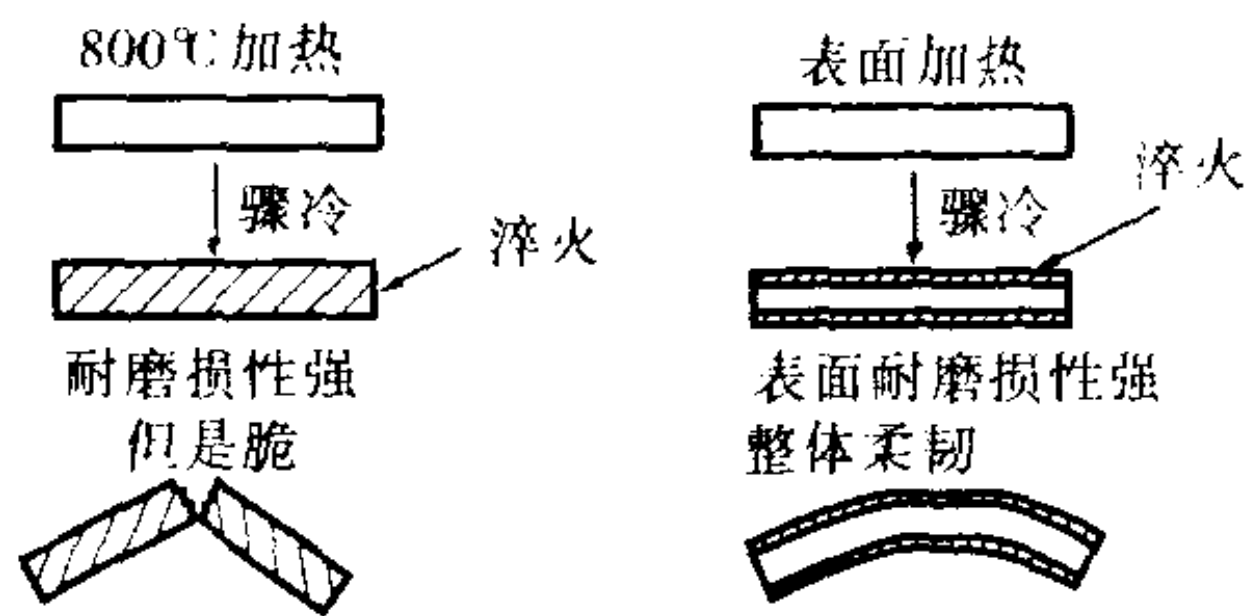


图 2. 28 淬火的方法

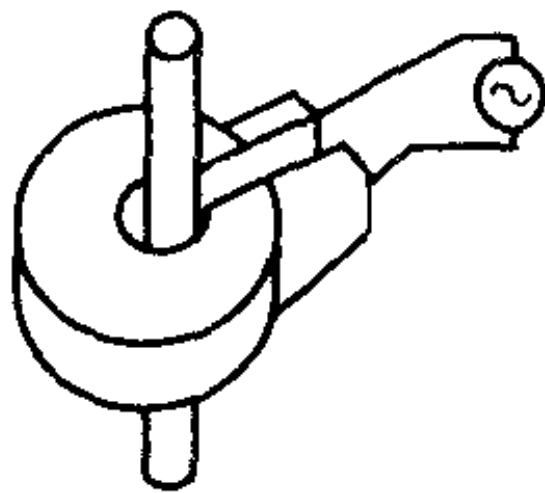


图 2. 29 加热线圈

为此,可利用高频感应加热进行表面淬火。表面淬火层的厚度可以通过使用的频率、表面功率密度、加热时间等进行调节。高频淬火用的加热线圈要与被处理物体的形状相配合,每一次都要进行设计。图 2. 29 为钢缆淬火用的加热线圈。

2. 4. 4 家电产品中的应用

家电产品中应用的感应加热器有图 2. 30 所示的电磁灶。在旋涡状的加热线圈中,供给 20 ~ 50kHz 的高频电源,在放在上面平板上的锅底中产生感应电流,锅本身被加热。

锅可由铁、不锈钢、搪瓷等制成,铝或铜的锅不能加热。

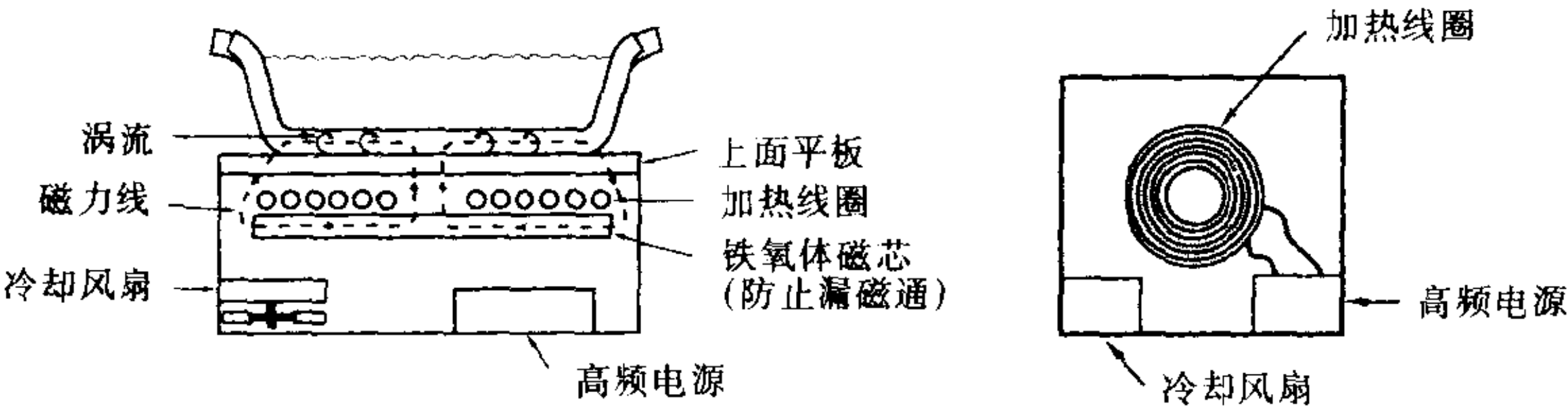


图 2. 30 电磁灶

在电磁灶内部装有防止因发热而温度过高的冷却风扇,还装有高频电源。另外,为了防止漏磁通,在加热线圈的下面配置铁氧

体磁芯。

如图 2.31 所示，这样的加热线圈还可用于对整个锅进行加热的电饭锅。

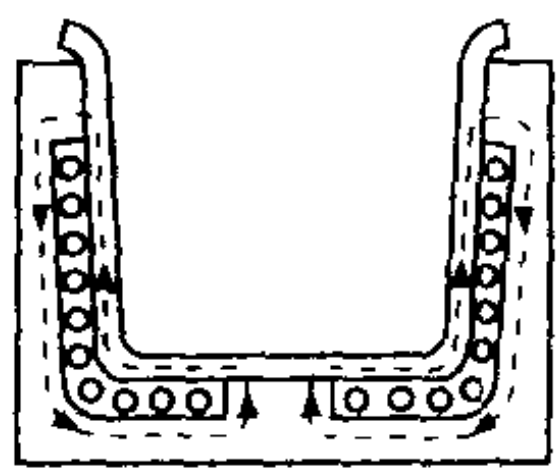


图 2.31 电饭锅

2.5 电介质加热

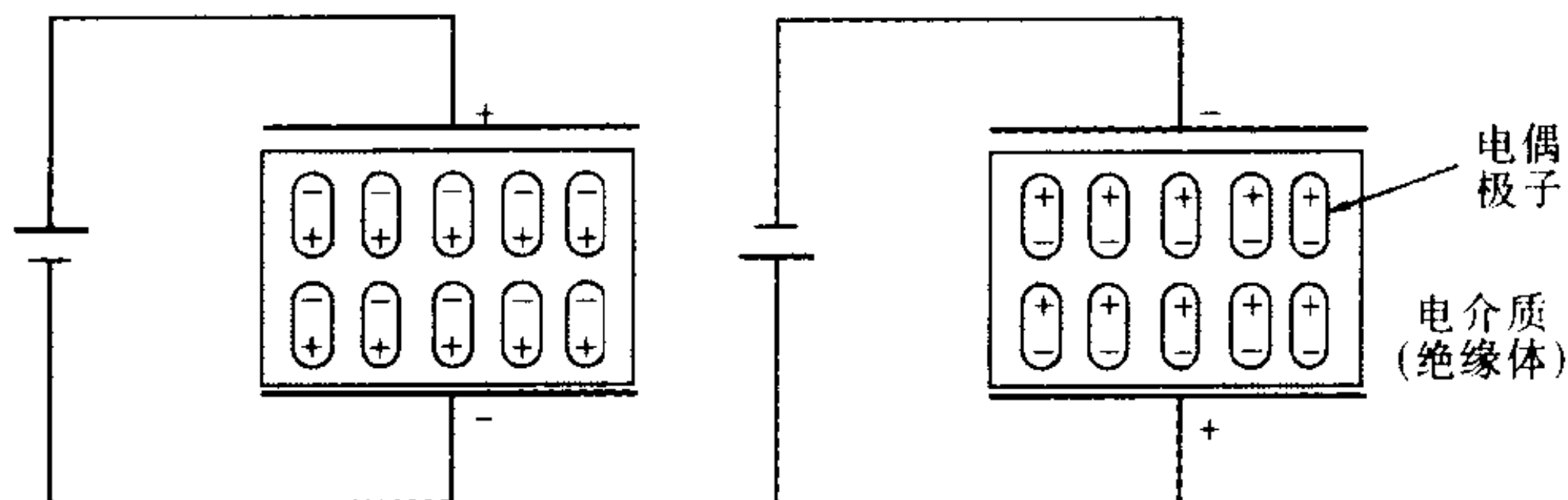


图 2.32 电介质极化

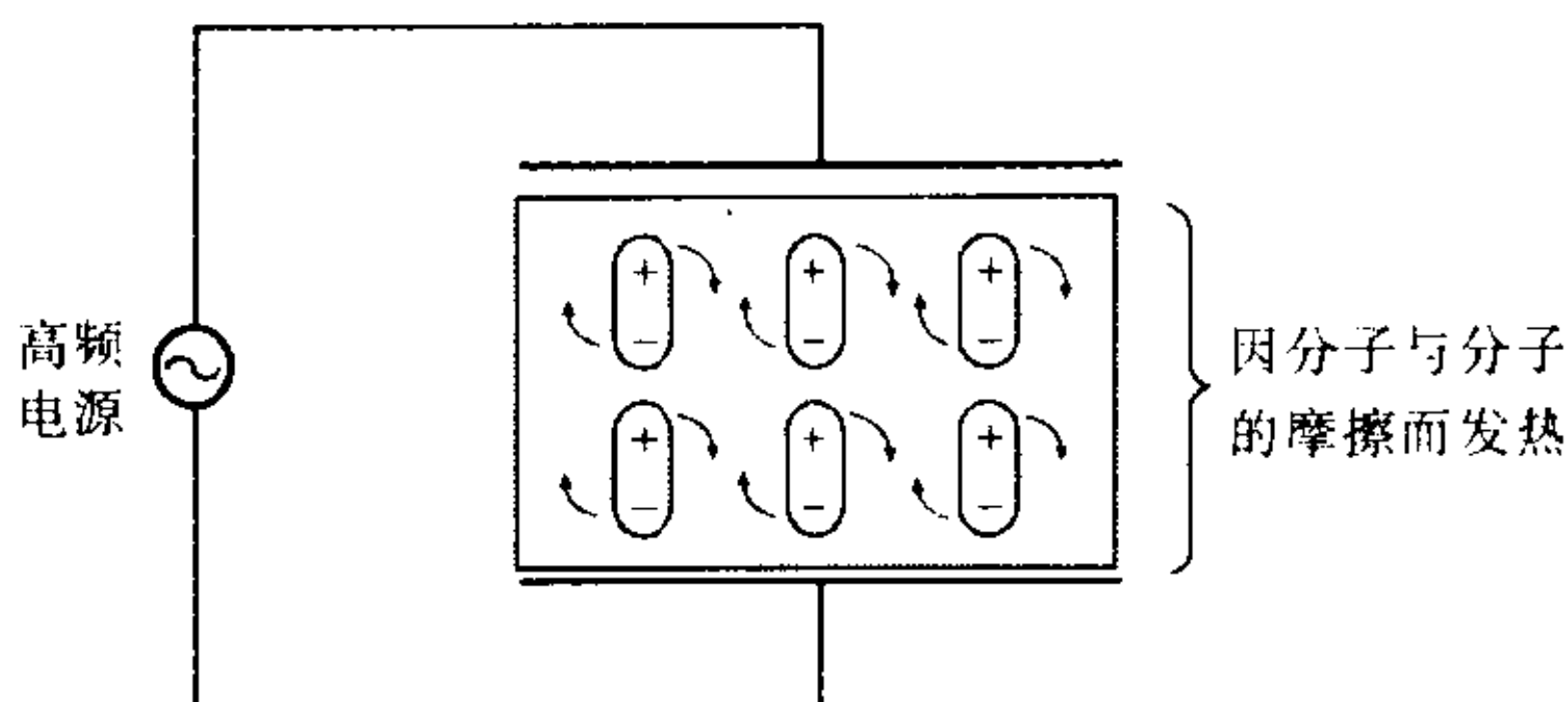


图 2.33 电介质加热的原理

2.5.1 电介质加热的原理

如图 2.32 所示, 将电介质(绝缘体)插入平行板电极之间, 若加上电场, 则产生极化。这是由于电介质中的分子成为电偶极子、并沿电场的方向排列的缘故。

若使电场的方向反向, 则电偶极子的方向也反向。因此, 如图 2.33 所示, 若在电极间加上高频电场, 则电偶极子沿电场方向剧烈旋转振动。电介质加热是利用这时的分子相互之间的摩擦而产生的热量的方法。电介质是绝缘体, 不能利用直接通电使其内部加热。另外, 即使利用间接加热, 即从外部进行加热, 热量也很难传至内部。

而电介质加热能够从内部对被加热物体(绝缘体)均匀加热, 是一种通过选择频率能够仅对特定部分进行选择加热的方式。

2.5.2 电介质加热的种类

(a) 高频加热

利用 $1 \sim 100\text{MHz}$ 左右的高频进行加热, 也叫做电介质加热。电介质加热有下列特征:

- ① 由于不需要进行热传导, 因此能够快速加热及均匀加热。
- ② 能够选择加热及局部加热。
- ③ 由于温度的响应速度快, 因此温度容易控制。

如图 2.33 所示, 被加热物体被放在平行板电极之间。但若被加热物体的厚度较薄, 则为了增加电力线通过的距离以提高加热效率, 可采用图 2.34 所示的栅状电极。

(b) 微波加热

利用 $300\text{MHz} \sim 30\text{GHz}$ 的微波进行加热。微波加热是利用波导管将微波照射到被加热物体上进行加热的, 微波的产生是采用磁控管(参见图 2.35)。

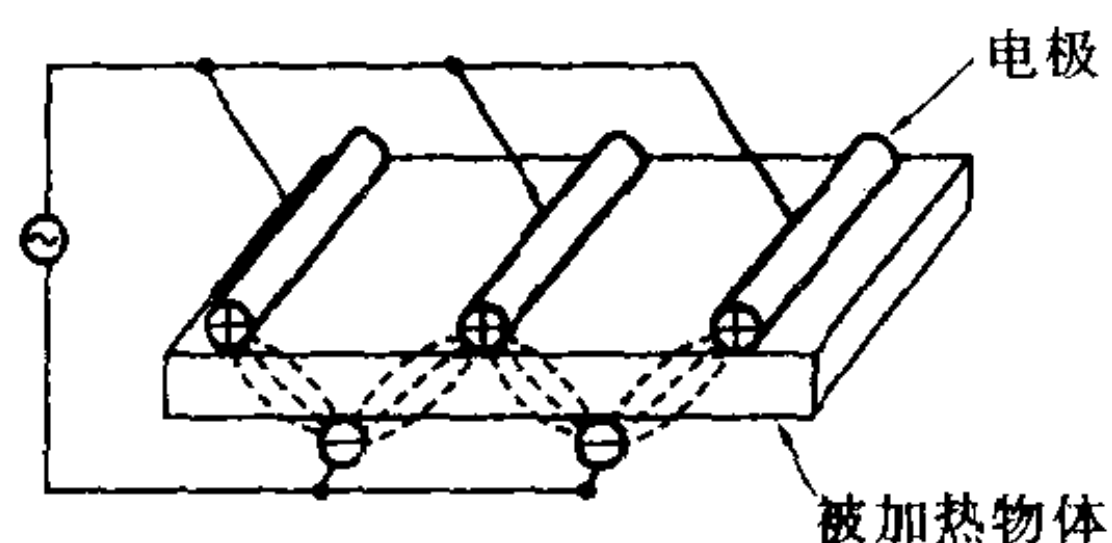


图 2.34 栅状电极

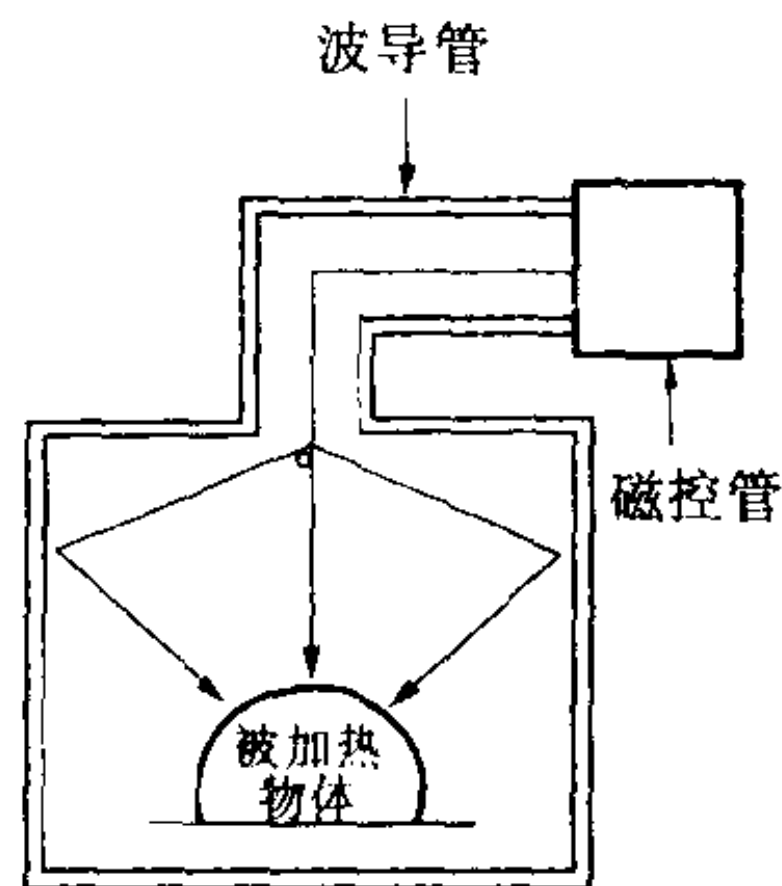


图 2.35 微波加热

微波加热有下列特征:

- ① 比电介质加热的加热作用大。
- ② 即使形状复杂的物体也能够比较均匀地加热。
- ③ 温度容易控制。

微波加热由于对水分的加热作用大, 因此用于微波炉对食品进行加热烹调。

图 2.36 为微波炉的构造。由磁控管产生的 2450MHz 微波通

过波导管引导，照射到应该进行加热的物体上。为了使得微波的照射均匀,可将食品放在转盘上旋转。

加热室的材料采用不锈钢或锌铜板。门要设计成防止使用中的微波向外部泄漏的构造,并设置门打开时切断电源的系统。

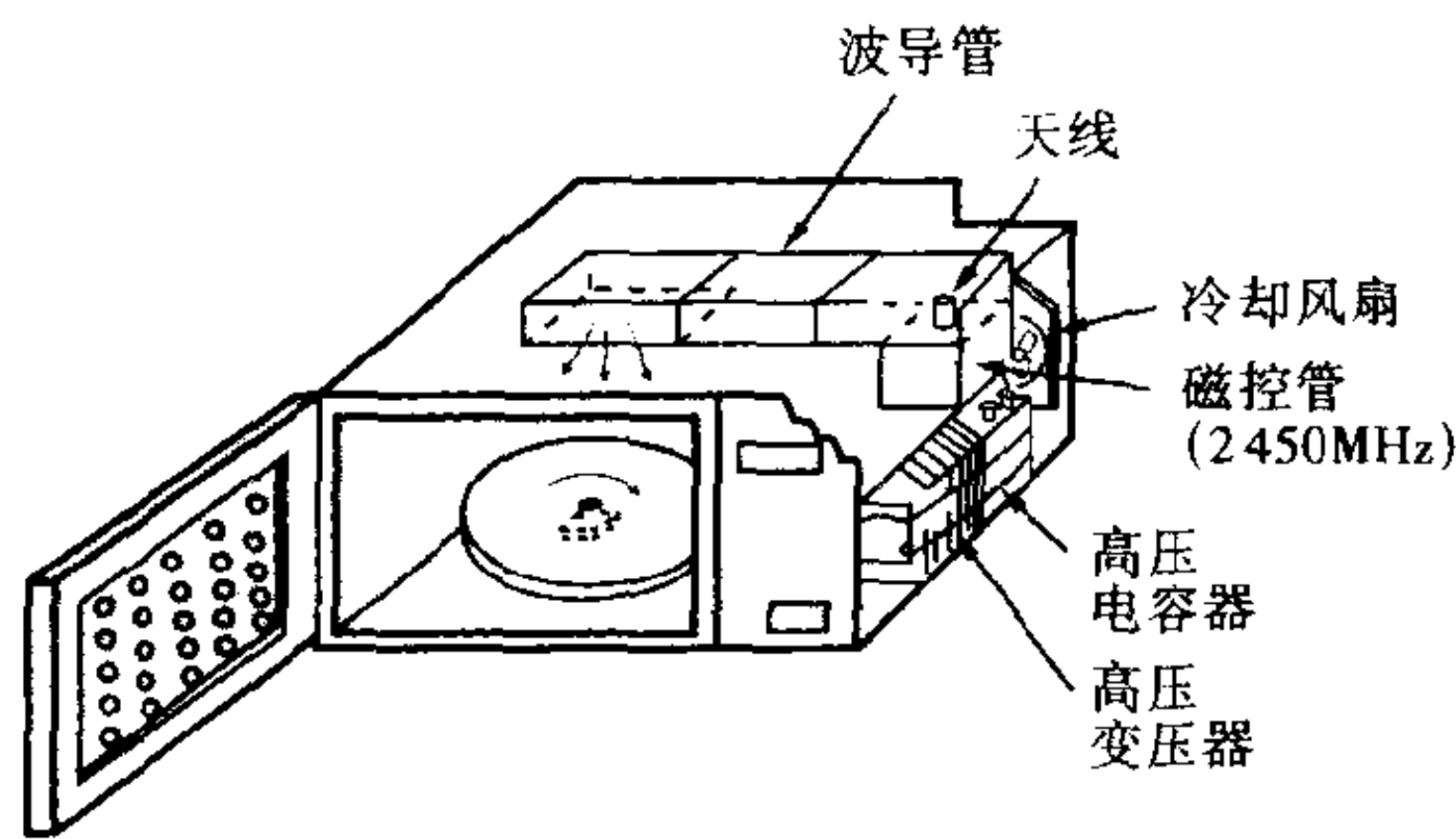


图 2. 36 微波炉

2. 5. 3 ISM 频率

若电介质加热使用的电磁波向外部泄漏，则对广播及电视等通信要产生干扰。在电波法中规定，将加热那样的通信以外的工业目的使用的频率叫做 ISM[Industrial(工业的)Scientific(科学的)Medical(医学的)]频率(参见表 2. 2)。

关于 ISM 频率，由于对泄漏电场数值没有限制，因此能够自由使用。微波加热使用 2450MHz, 电介质加热也多使用 ISM 频率。

表 2. 2 ISM 频带

高 频	微 波
13. 56MHz ± 6. 78kHz	2450MHz ± 50MHz
27. 12MHz ± 162. 72kHz	5800MHz ± 75MHz
40. 68MHz ± 20. 34kHz	24. 125GHz ± 125MHz

2. 5. 4 电介质加热的应用(木材的粘贴及干燥)

利用木材的粘贴加工能够做成胶合板或组合木材，而粘贴是利用电介质加热来进行的。频率多使用 ISM 频率的 13. 56MHz。由于仅对粘贴层进行选择加热, 因此能够大幅度减少粘贴时间。

图 2.37 为木材减压干燥装置。由于利用减压使沸点下降,因此在此在 40℃ 左右能够干燥,能够得到裂纹及变色较少的干燥木材。

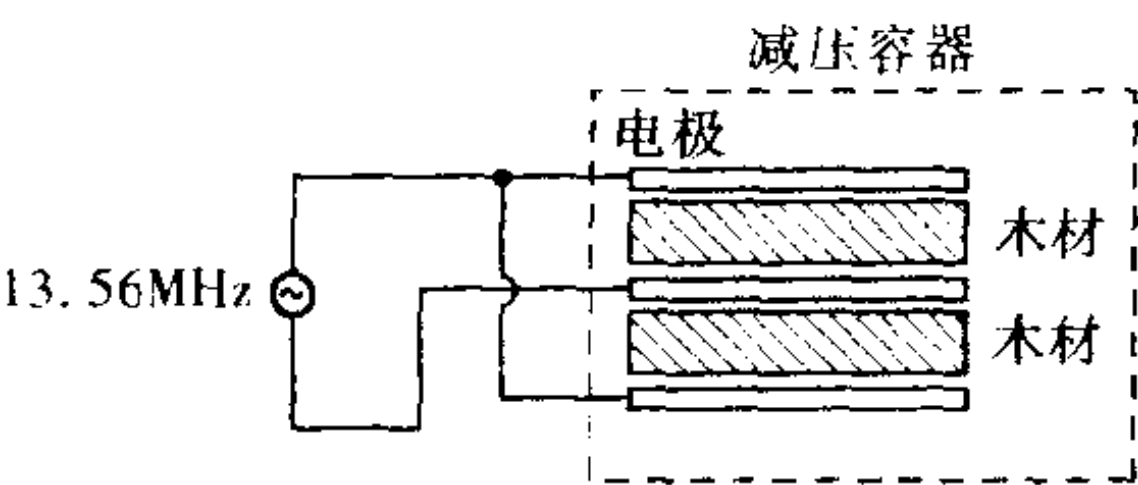


图 2.37 减压干燥装置

2.6 其它加热方式

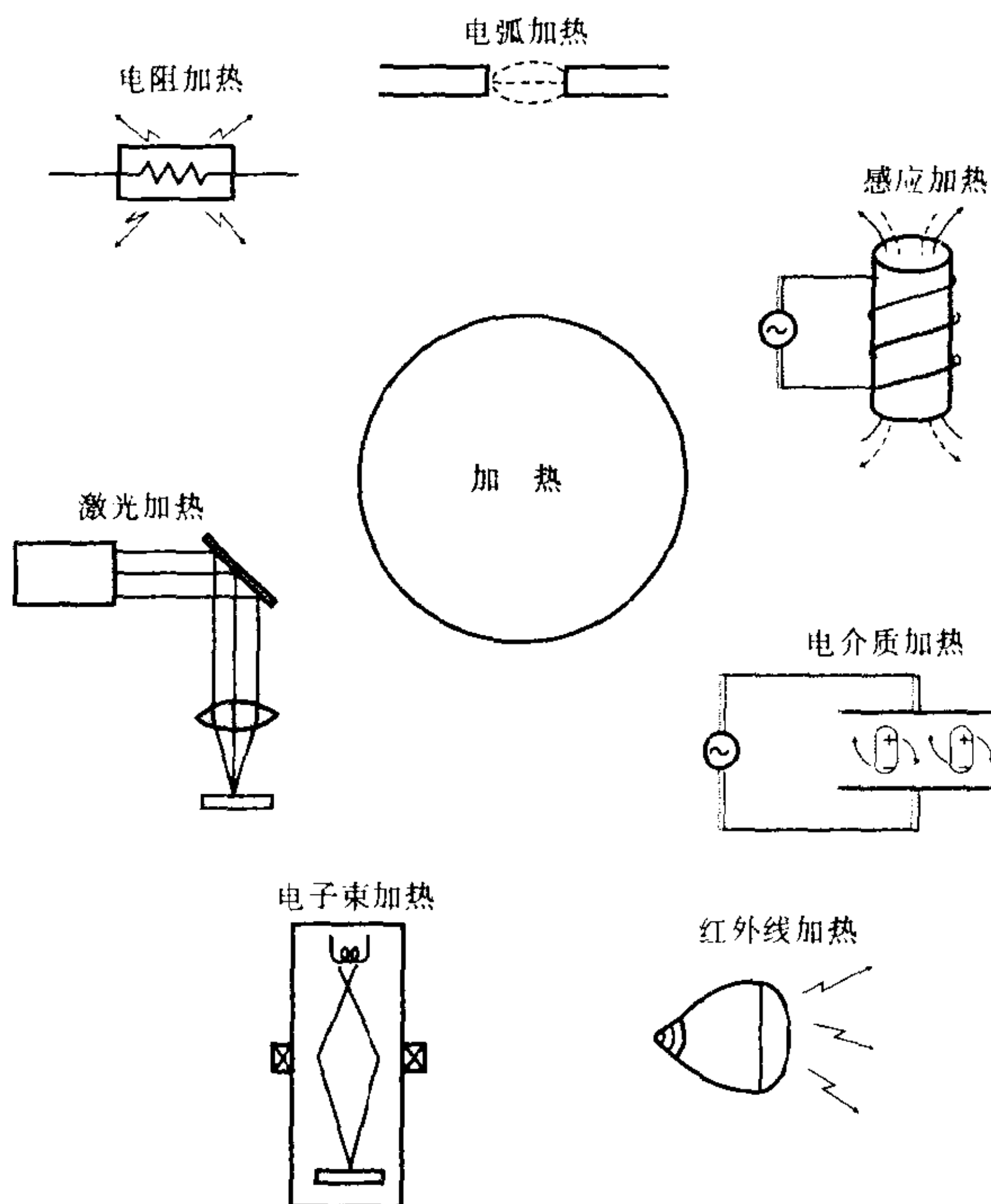


图 2.38 各种加热方式

2.6.1 红外线加热

(a) 红外线加热的原理

利用红外线照射进行加热的方式叫做红外线加热(参见图 2.38)。红外线是一种电磁波, 由于不需要空气作为媒体, 直接对被加热物体进行照射, 因此加热效率高, 加热速度快(参见图 2.39)。

将红外线按波长加以划分, 则如图 2.40 所示。

在红外线加热中, 远红外线加热的利用较为广泛, 其理由如下所述:

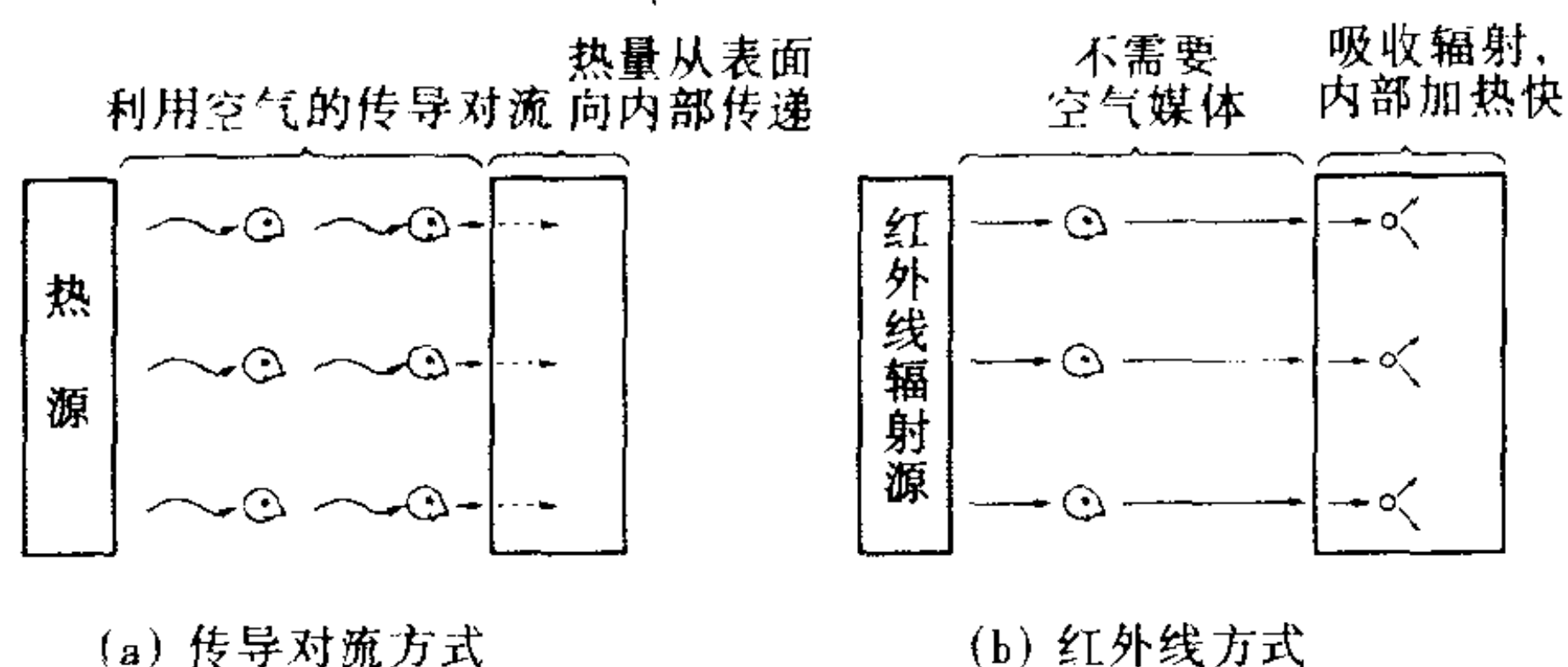


图 2.39 传导对流方式与红外线方式的比较

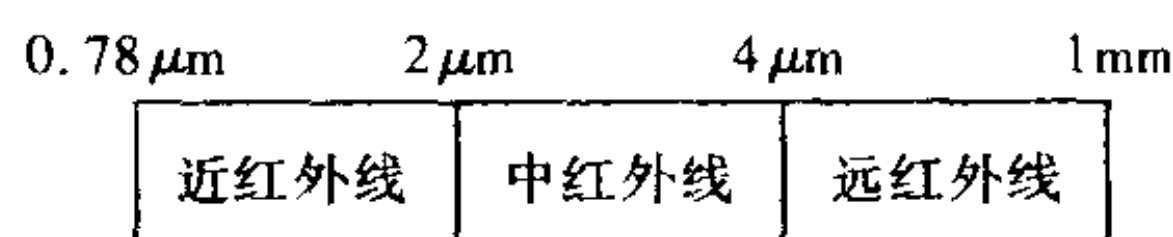


图 2.40 红外线的波长划分

① 2.5 ~ 25 μm 左右的远红外线波长与塑料、食品及有机溶剂等有机化合物的吸收率的波长一致, 加热效率高。

② 利用远红外线干燥、加工及杀菌等, 不容易破坏食品の色香味。

③ 远红外线加热器是寿命长、耐用的热源。

由于金属一般对红外线要加以反射, 因此不适合采用红外线加热。适合红外线加热的材料是塑料、涂料、木材等有机材料及陶瓷、食品等。

(b) 红外线辐射源

① 红外线灯泡: 红外线灯泡是使电流流过钨丝等电阻、利用其热辐射的红外线辐射源。它有两种, 一种是将灯泡玻璃内侧作为反射面的 R 型, 另一种是管型(参见图 2.41)。

由于 4 μm 以上波长的红外线不透过玻璃或石英, 因此红外线灯泡是近红外线辐射源。

② 远红外线加热器: 远红外线对于有机化合物等的加热效率高, 其应用广泛。

远红外线加热器是在铠装电阻丝(参见 2.2 节)的表面涂以远红外区辐射率高的陶瓷的加热器, 是远红外线辐射源(参见图 2.42)。

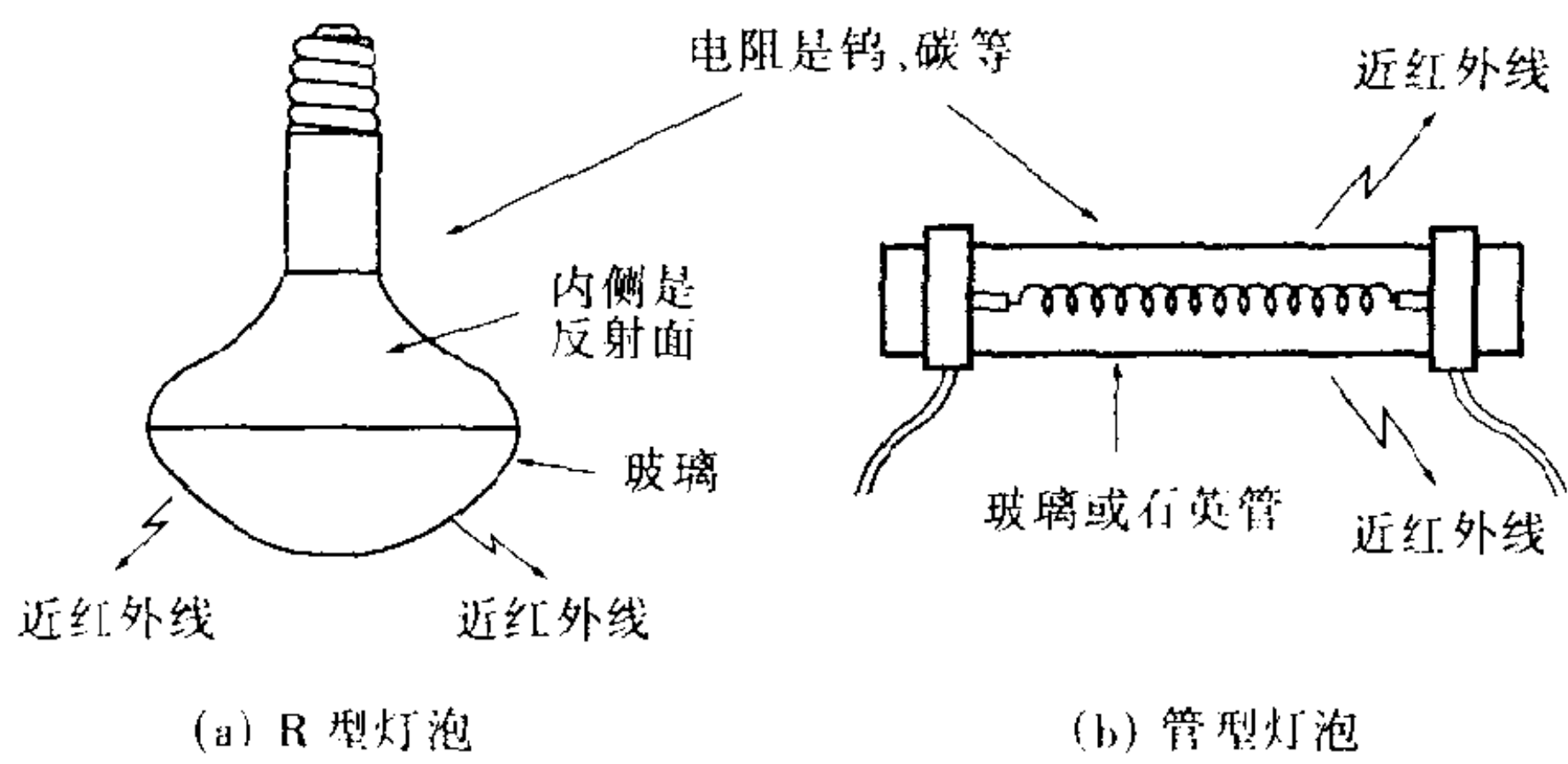


图 2.41 红外线灯泡

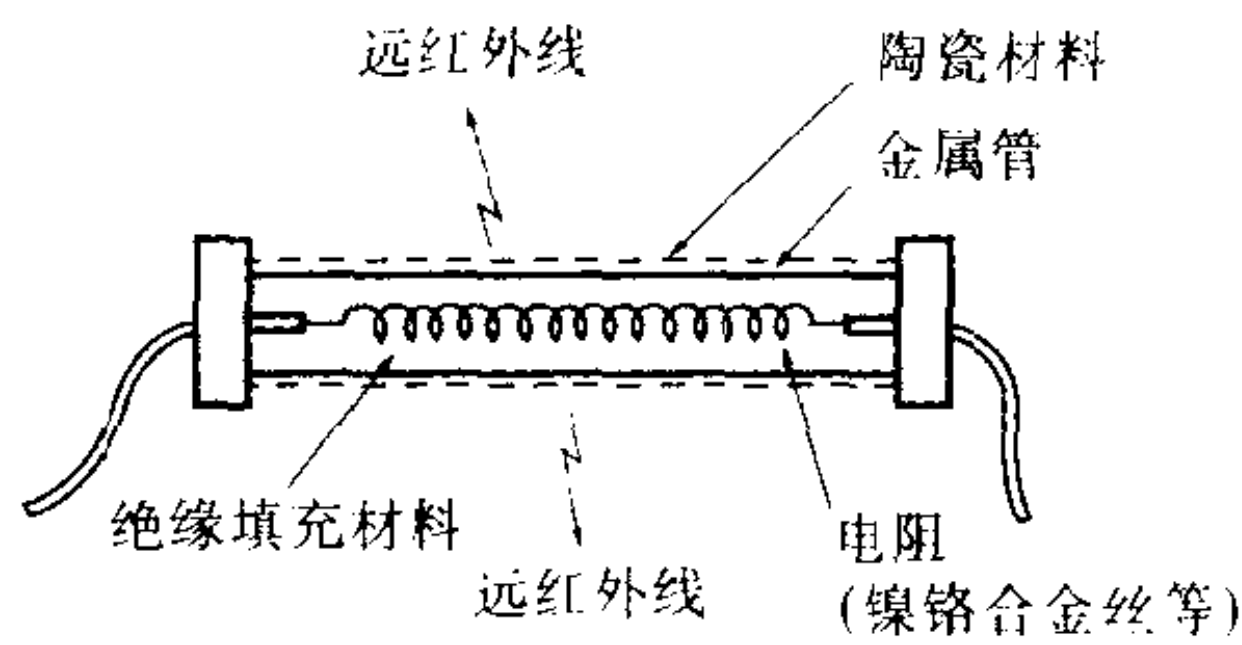


图 2.42 远红外线加热器

(c) 红外线加热装置(炉)

红外线加热装置是将红外线灯泡或红外线加热器排成平面状, 构成加热面, 将加热面组装成加热装置。

① 开放型: 是将若干个加热器排列在一个面上的加热装置, 可用于汽车补漆烘干等场合(参见图 2.43)。

② 密闭型: 外形为箱形, 加热器根据被加热物体的情况可配置单面加热器或双面加热器。

由于是密闭型, 因此热损耗少, 适合需要常时间加热的处理(参见图 2.44)。

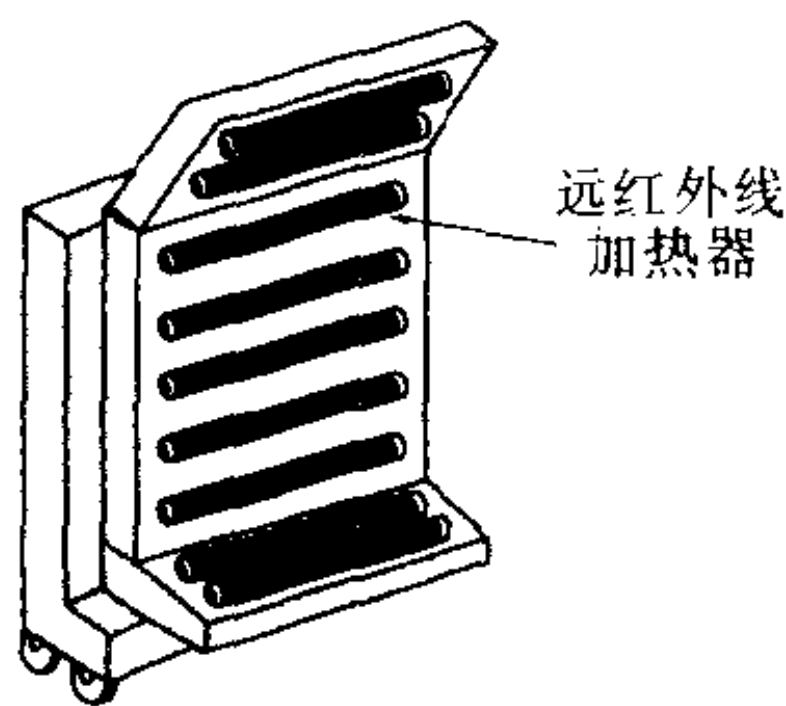


图 2.43 开放型加热装置

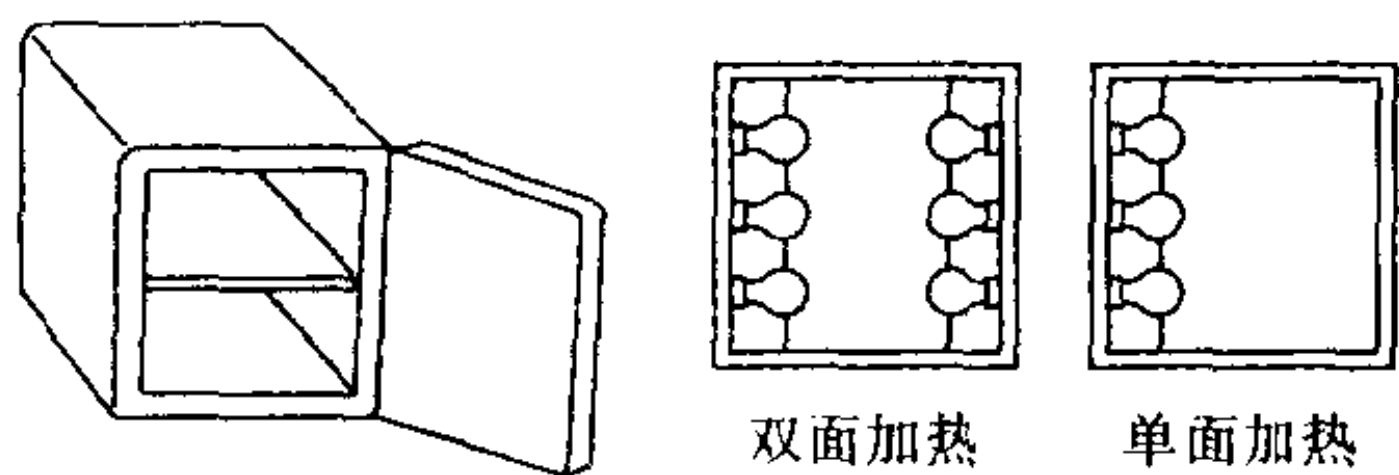


图 2.44 密闭型加热装置

③ 通道型：通道型加热装置在装置两端具有入口及出口，用输送带等连续进行加热。根据被加热物体的形状或输送机构，加热器可配置在两个侧面或顶部等(参见图 2.45)。

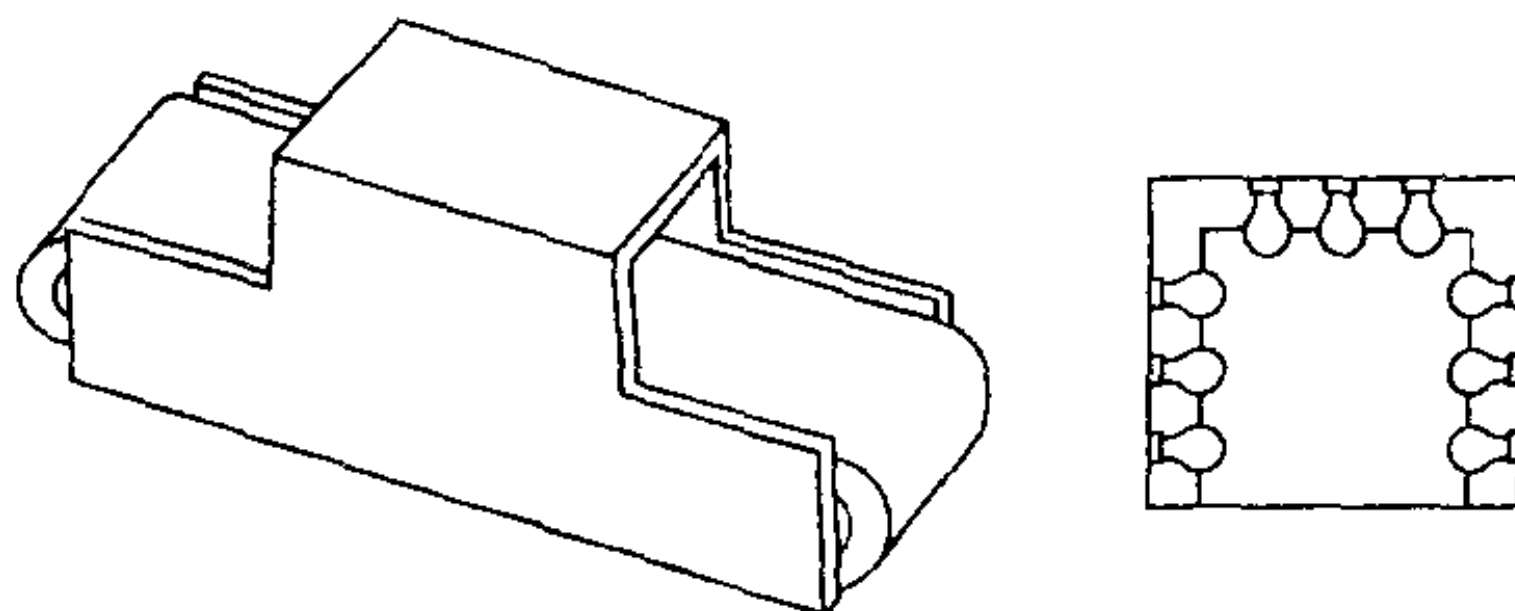


图 2.45 通道型加热装置

2.6.2 电子束加热

将真空中加速到高速的电子形成电子束，利用该电子碰撞产生的能量进行加热的方式叫做电子束加热(参见图 2.46)。

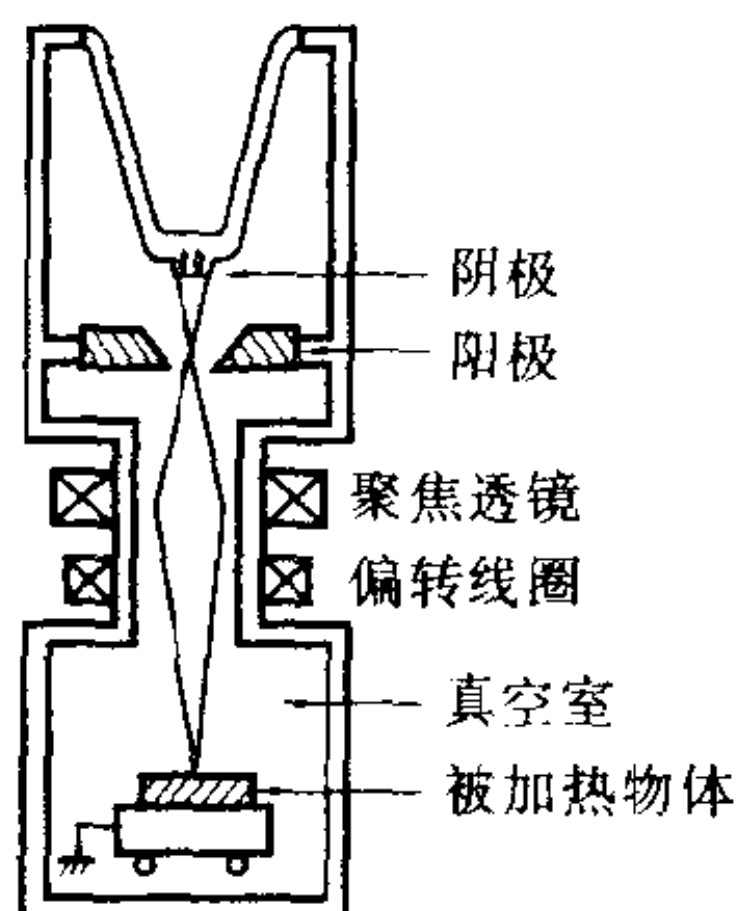


图 2.46 电子束加热

(a) 电子束加热的特征

- ① 将电子束集中于局部时的能量密度非常高，可用于焊接或熔解。
- ② 由于是在真空中加热，因此受氧化等的影响少。
- ③ 由于是在真空中加热，因此被加热物体的尺寸及形状受到限制。
- ④ 能够正确控制电子束的功率及照射位置。
- ⑤ 若照射脉冲状电子束，则由于能够使加热范围很窄，

因此加热的热变质小。

⑥ 利用电子束的偏转, 能够对必须的部位高速进行加热(局部表面热处理)。

⑦ 被加热物体一般常是导电性好的金属, 若带磁性, 则由于会使电子束的轨迹弯曲, 因此必须要去掉磁性。

(b) 用途

- ① 电子束加工: 金属、半导体及宝石的打孔、切削等。
- ② 电子束焊接: 熔融宽度窄, 焊得深。
- ③ 电子束熔解: 适合于高熔点金属。
- ④ 电子束蒸镀。
- ⑤ 表面热处理。

2.6.3 激光加热

将激光聚成激光束, 用激光能量对被加热物体进行加热的方式叫做激光加热(参见图 2.47)。

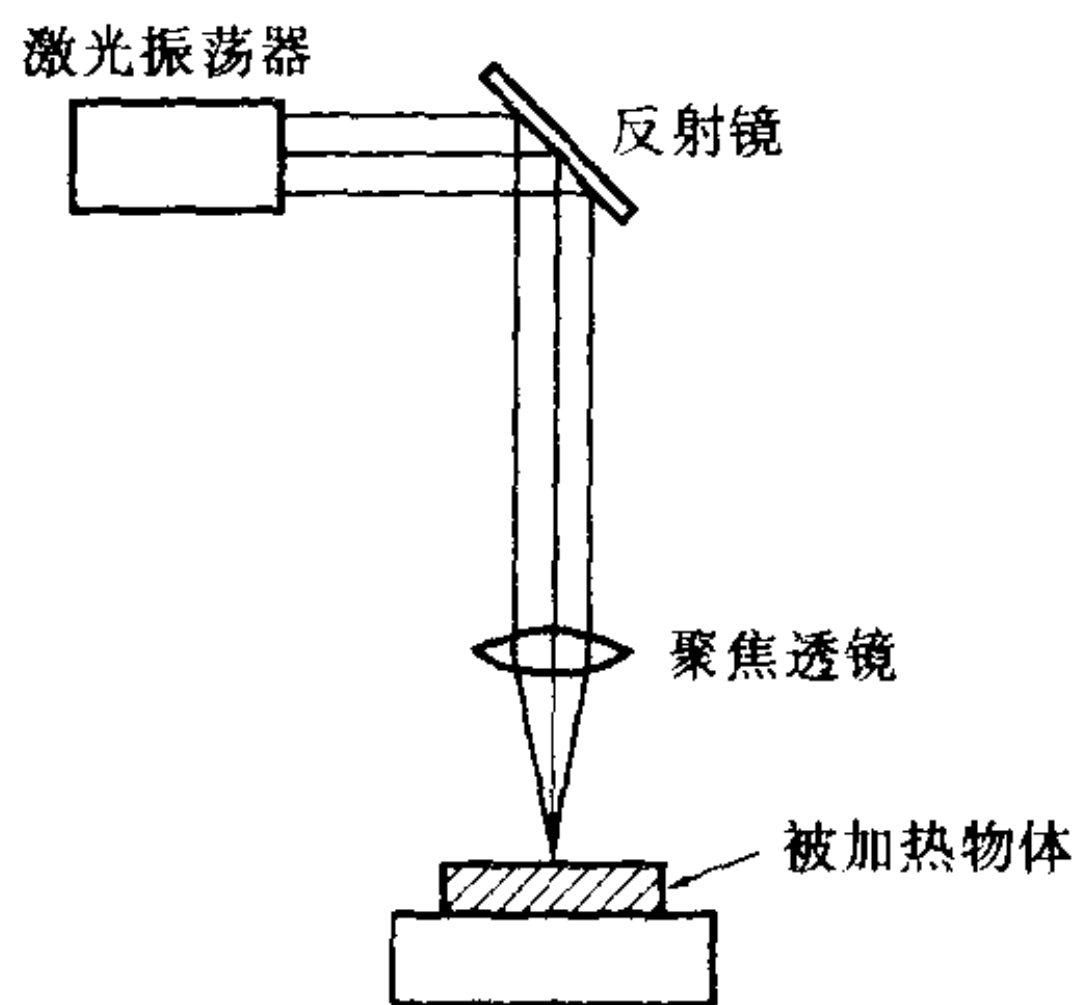


图 2.47 激光加热

(a) 激光加热的特征

- ① 激光是单色光, 能够比自然光聚成更小的光束, 能量密度高。
- ② 是在大气中加热, 不需要电子束加热那样的真空部分。
- ③ 能够在大范围内控制激光的能量及照射面积。
- ④ 能够对微小部分进行照射, 因此加工的热变质小。

⑤ 能够对必要的部分高速加热。

⑥ 激光能够将光束传到很远的地方，因此能够进行远距离加工。

⑦ 一般波长短的激光能形成更小直径的光束，适合于微细加工。

⑧ 被加热物体不管是导电性、磁性、金属及非金属均可。但金属材料中，多数对激光的反射率高，因此必须进行防反射处理。

⑨ 缺点是能量变换效率低。

(b) 用 途

① 激光加工：打孔、切断、刻标记（在标牌、工具上记录信息）。

② 激光焊接：电子电路的引线焊接及热电偶焊接。

③ 表面热处理：淬火。

2.7

电 焊

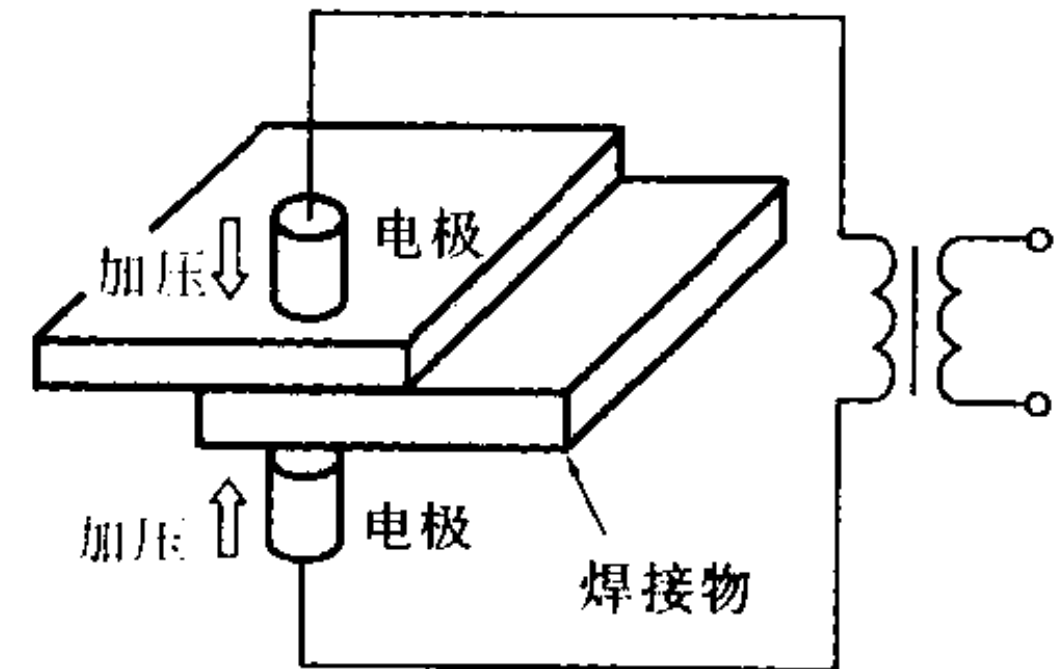
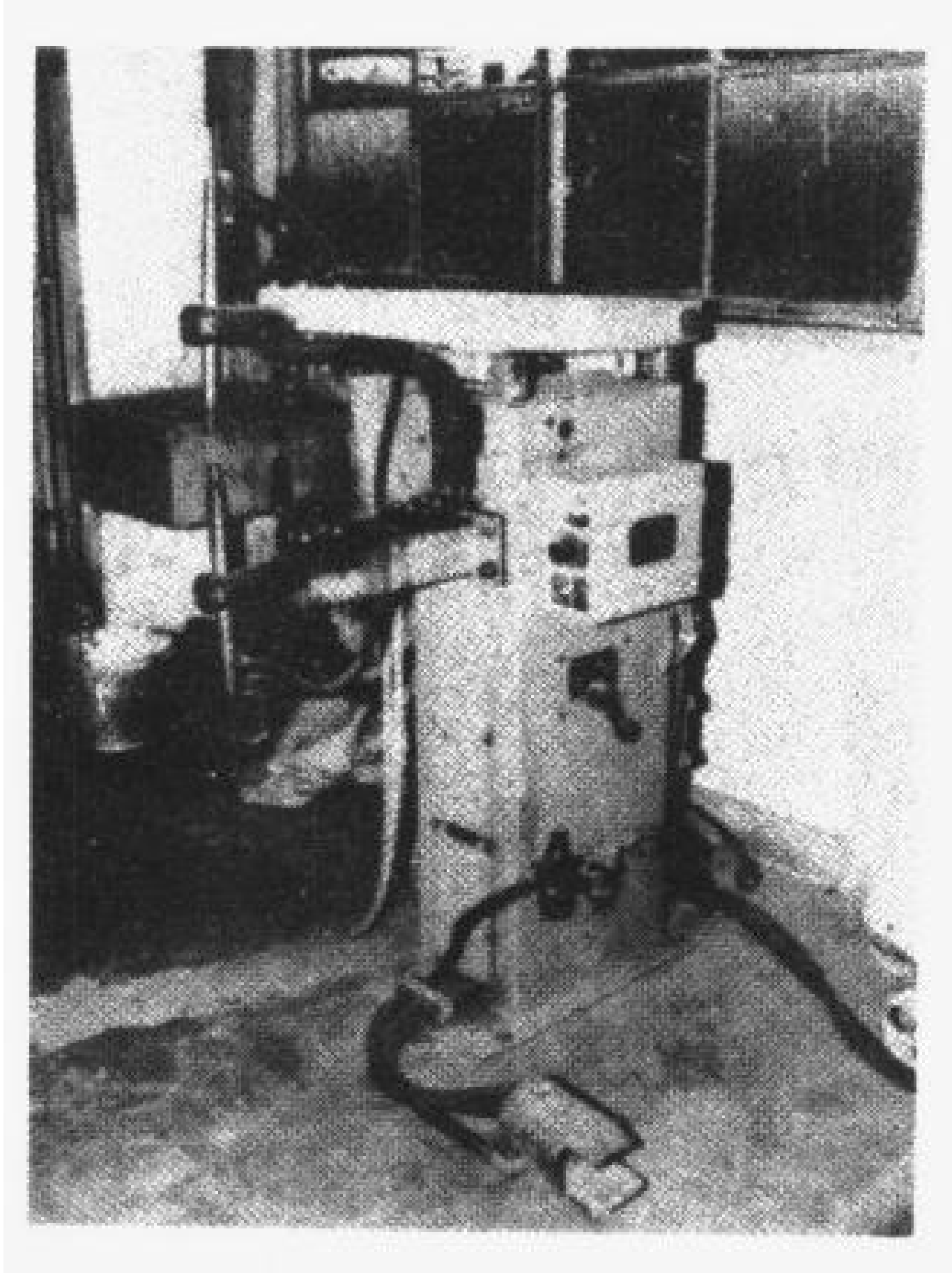


图 2.48 点焊

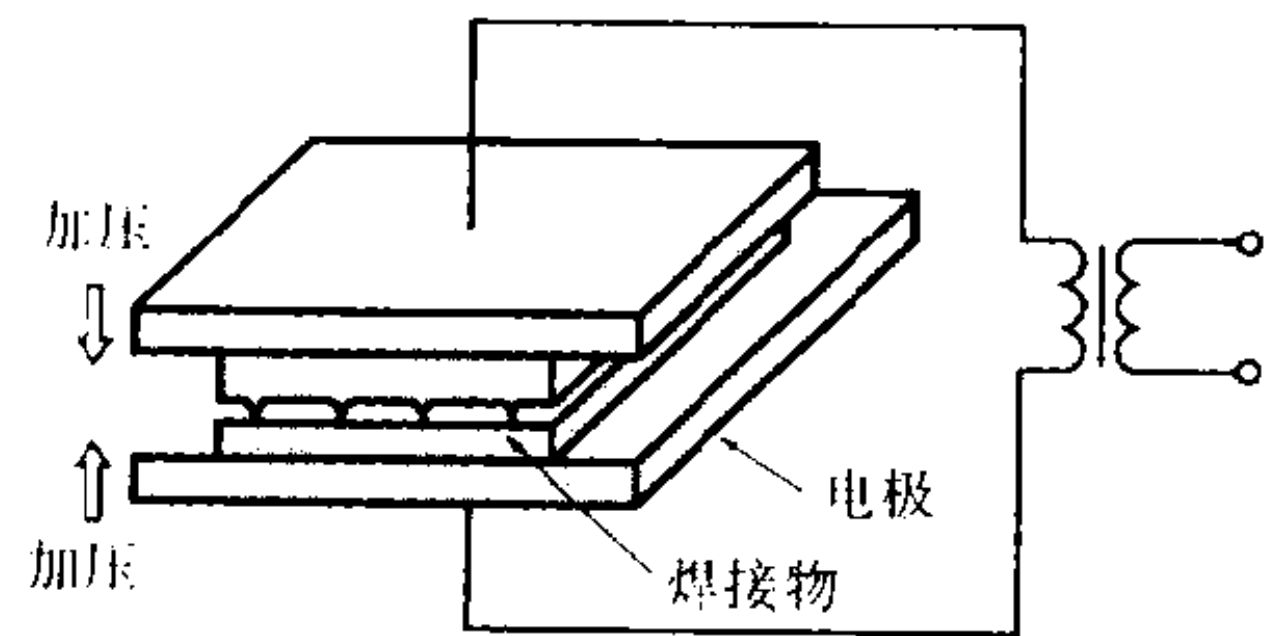


图 2.49 多点凸焊

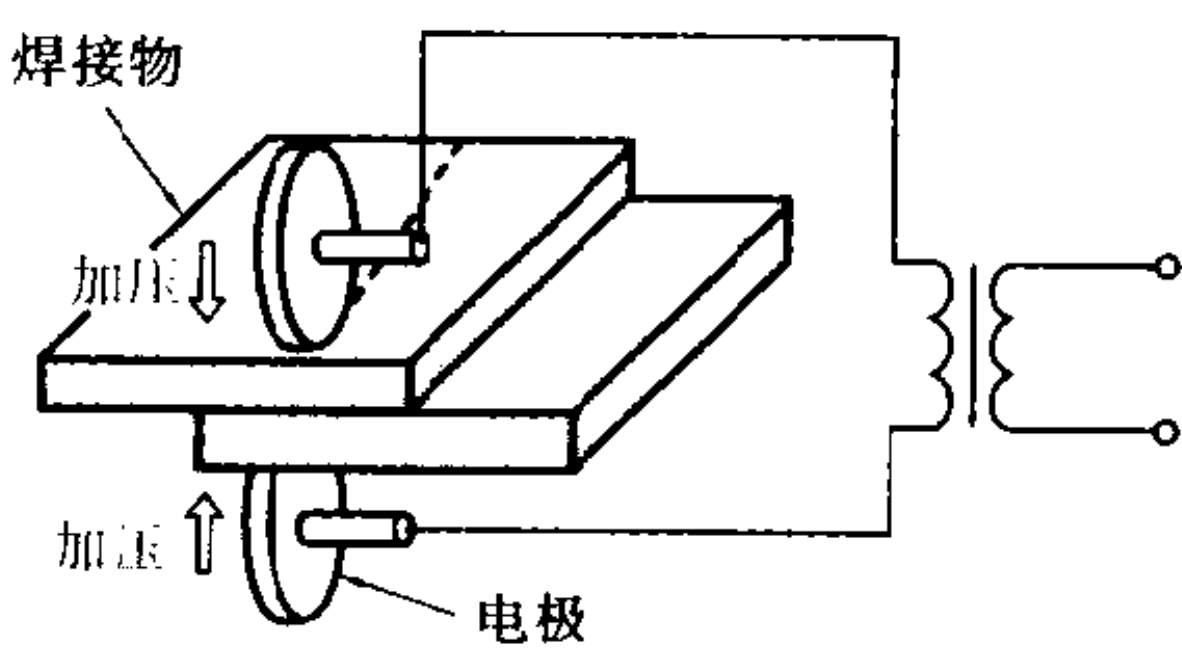


图 2.50 滚焊

2.7.1 焊接的原理

所谓焊接是将金属与金属的接触面熔融，使接触面的金属原子之间靠近重新进行排列，若接触面柔软，则加压也能够使金属原子的结合距离靠近。

利用电能进行加热使金属熔融的方法叫做电焊。

2.7.2 电阻焊

所谓电阻焊是在焊接的金属接触面上流过电流, 利用接触电阻产生的焦耳热得到适合焊接的高温、再将接触面加压进行焊接的一种方法。

根据金属面接触的方法, 可分为下列几种焊接法:

(a) 叠焊

① 点焊: 如图 2.48 所示, 是将焊接材料重叠、用棒状电极加压流过电流呈点状焊接的方法。其广泛用于薄板焊接中。

② 多点凸焊: 所谓凸焊是指在焊接材料上形成凸起等、加工时将电流集中在形成的凸起部分或边缘进行焊接的方法 (参见图 2.49)。电极采用平板形, 能够多点同时进行焊接, 因此能够减少变形。

③ 滚焊: 如图 2.50 所示, 是用一对旋转圆盘电极连续进行点焊的方法。其用于不能从焊接部位有液体等泄漏的气密焊接。

(b) 对焊

① 对接焊: 如图 2.51 所示, 是将焊接材料对接加压、通过电极流过电流、利用焦耳热及加压进行焊接的方法。在电线工厂中多用来进行钢缆或铜线等连续拉丝加工。

② 电弧对接焊: 是在对接焊的两金属面之间产生火花进行焊接的方法 (参见图 2.52)。焊接强度及可靠性均高, 移动轨迹长, 可用于汽车中的方向盘转轴等的焊接。

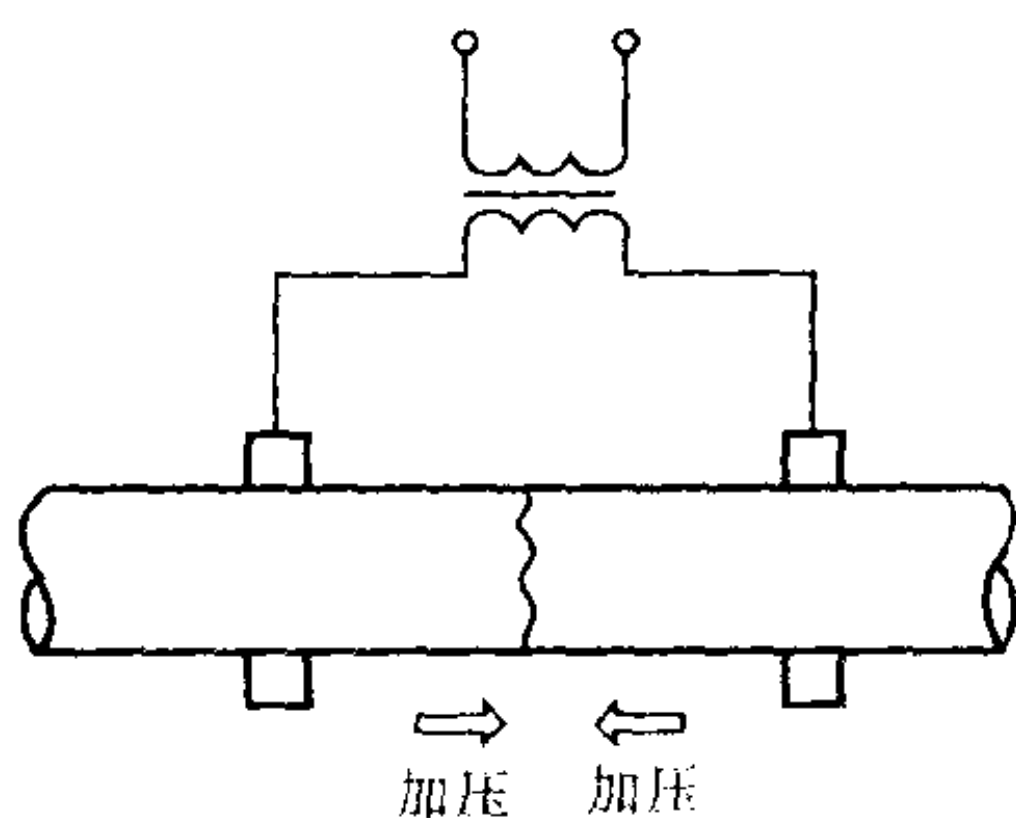


图 2.51 对接焊

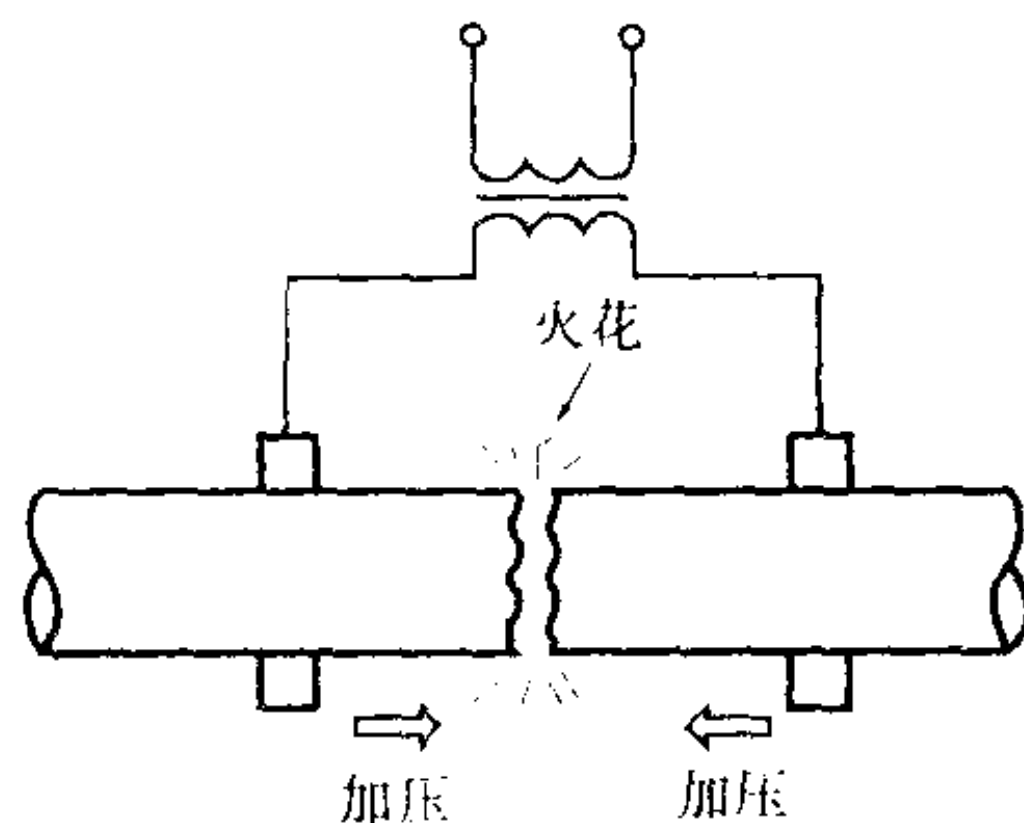


图 2.52 电弧对接焊

2.7.3 电弧焊

电弧焊是产生电弧 (参见 2.3.1 小节), 并利用其热量将焊接母材与焊条熔融而焊接的方法。根据电弧产生的方法, 有碳电弧焊及金属电弧焊。

碳电弧焊的方法 (如图 2.53 所示) 是在焊接母材与碳电极之间产生电弧, 使母材的焊接部位熔融, 同时熔入与母材相同材料的焊条的方法。其可用于铸件的修理或金属切断。

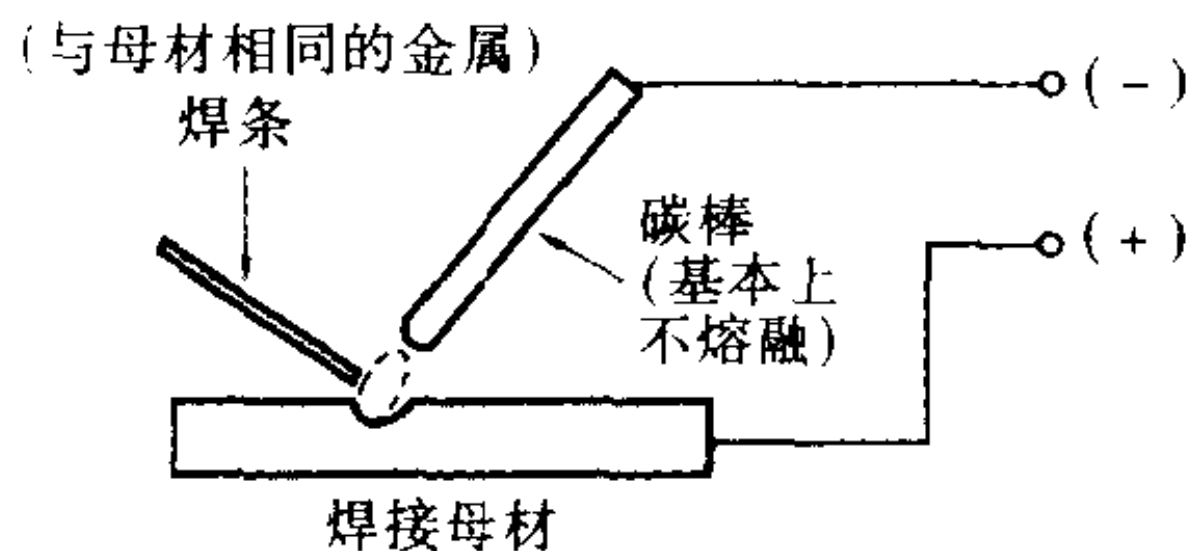


图 2.53 碳电弧焊

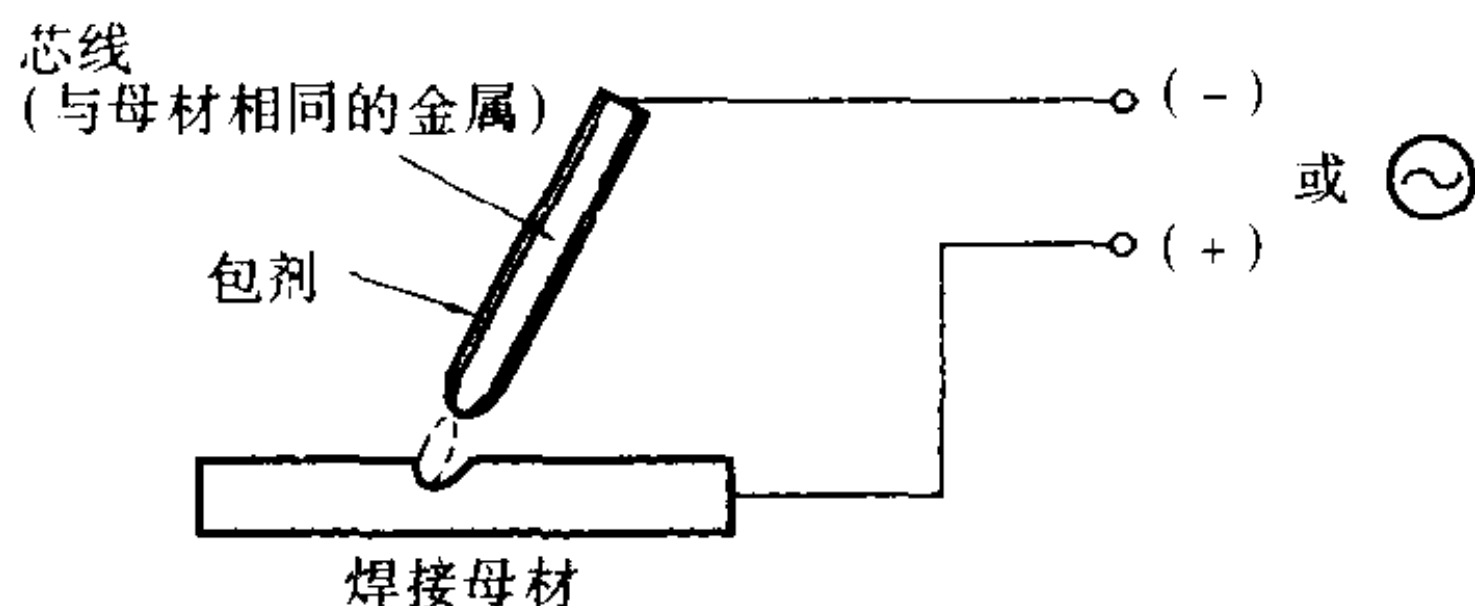


图 2.54 金属电弧焊

金属电弧焊的方法 (如图 2.54 所示) 是将焊条本身作为电极, 在与母材之间产生电弧进行焊接的一种方法, 其应用最为广泛。

碳电弧焊的情况下, 一般电源采用直流; 金属电弧焊的情况下, 直流交流都可使用。用直流电源时, 将电极一侧作为负极使用。

金属电弧焊的焊条涂有包剂。这是因为该包剂受电弧热而分解, 使电弧稳定, 另外利用产生的气体或熔渣将熔融金属与大气隔离, 以防止氧化或氮化。

焊接电源的电流与电压的关系一般采用图 2.55 所示的下垂特性。这是因为在电弧焊中, 当电弧长由于手的摆动等从 L_2 变为 L_1 时, 工作点从 A 点移到 B 点, 而这时的电流变化较小, 能够保

持电弧连续。若电源为恒电压特性,则不能提供电弧所必须的电压,电弧会熄灭。

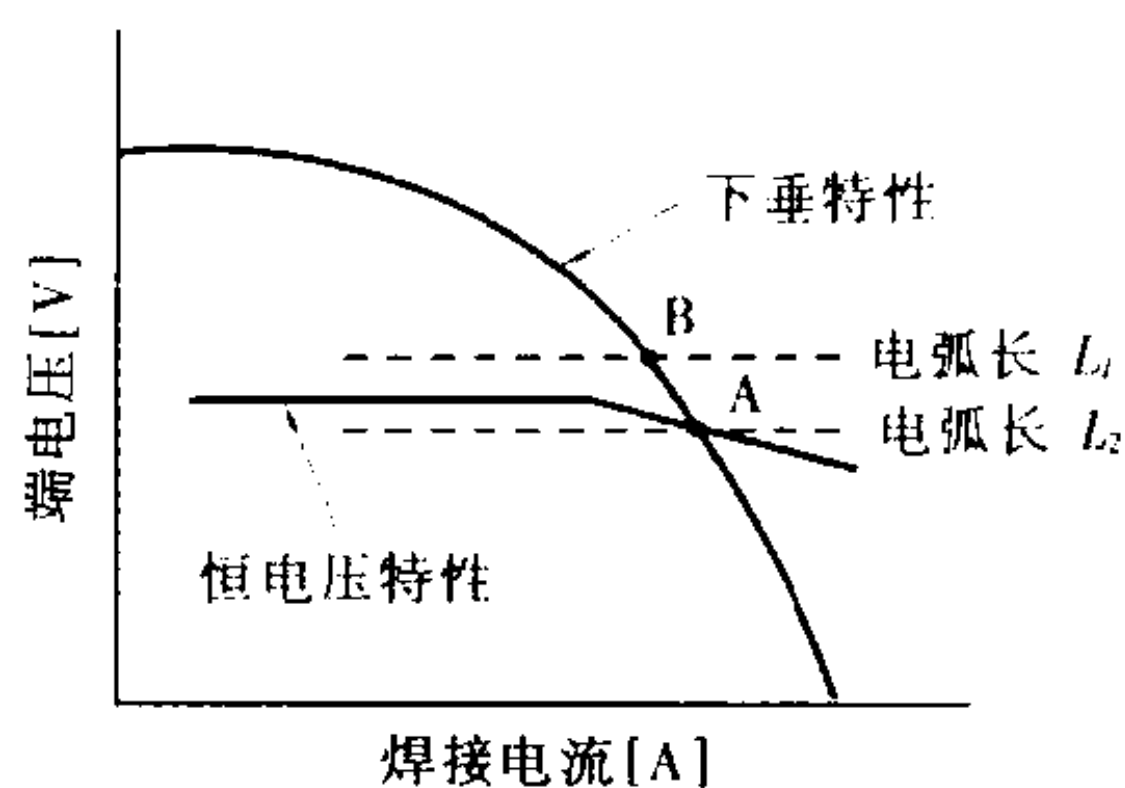


图 2.55 焊接电源的下垂特性



图 2.56 保护面罩及保护手套

由于电弧焊辐射高热及强紫外线或红外线,因此必须注意用焊接保护面罩、皮革制的保护手套(参见图 2.56)、围裙、安全鞋等进行保护,并注意排气。

2.7.4 其它的焊接

(a) 电子束焊接

利用真空中的电子束进行焊接,可用于不同种金属的焊接及精密焊接(参见 2.6.2 小节)。

(b) 激光焊接

利用激光进行焊接,能进行热变形小的焊接(参见 2.6.3 小节)。

III

自动控制

在自动控制的控制方式中有反馈控制及顺序控制,最近都采用计算机来进行各种控制。

在本章中将学习各种控制方式的区别,关于反馈控制将学习传递函数、框图及控制系统特性;关于顺序控制将学习继电器顺序控制、无触点顺序控制、顺序控制电路设计、以及顺序控制举例。

另外,关于计算机控制,还学习计算机控制用零部件、计算机控制举例及其控制方式。

3.1 各种自动控制

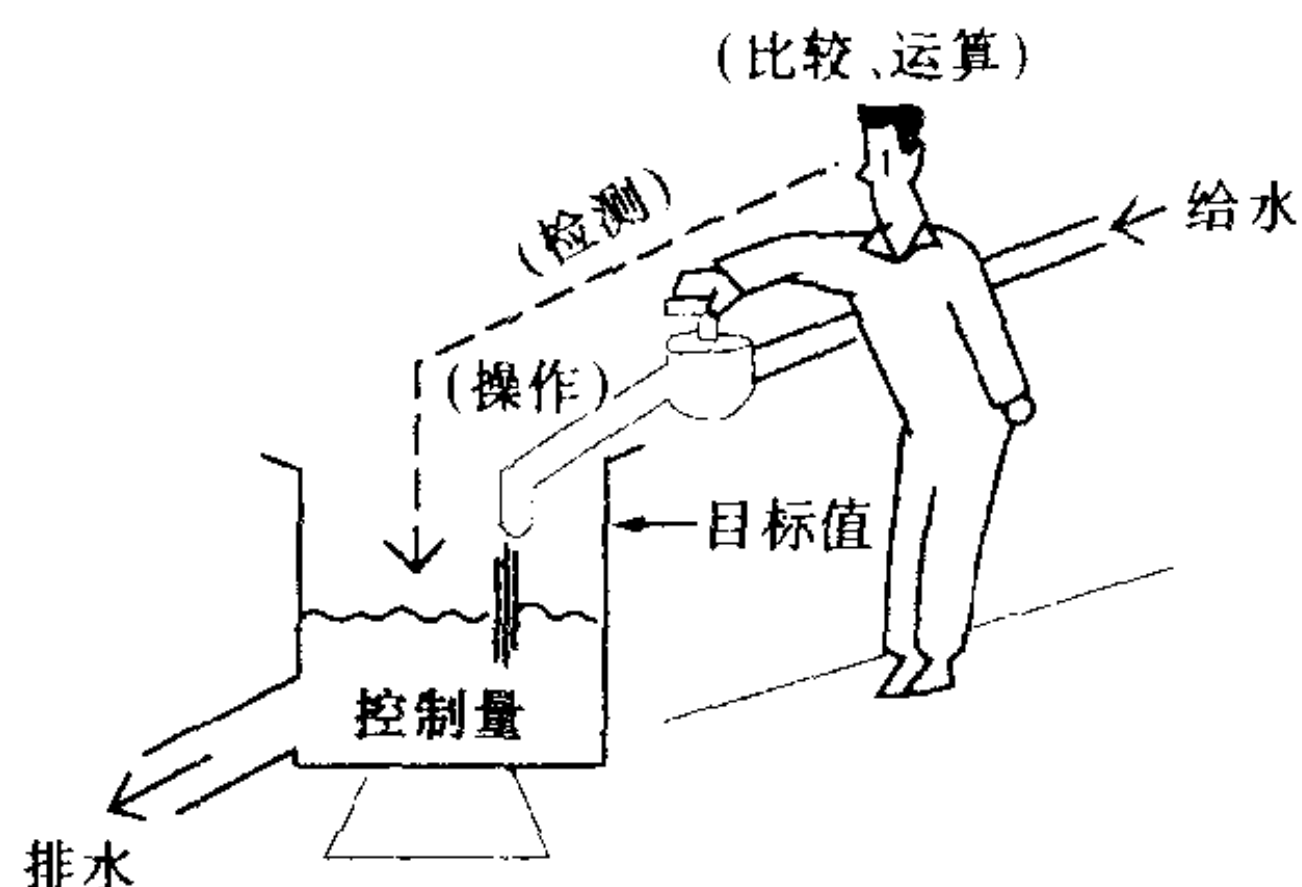


图 3.1 手动液位控制

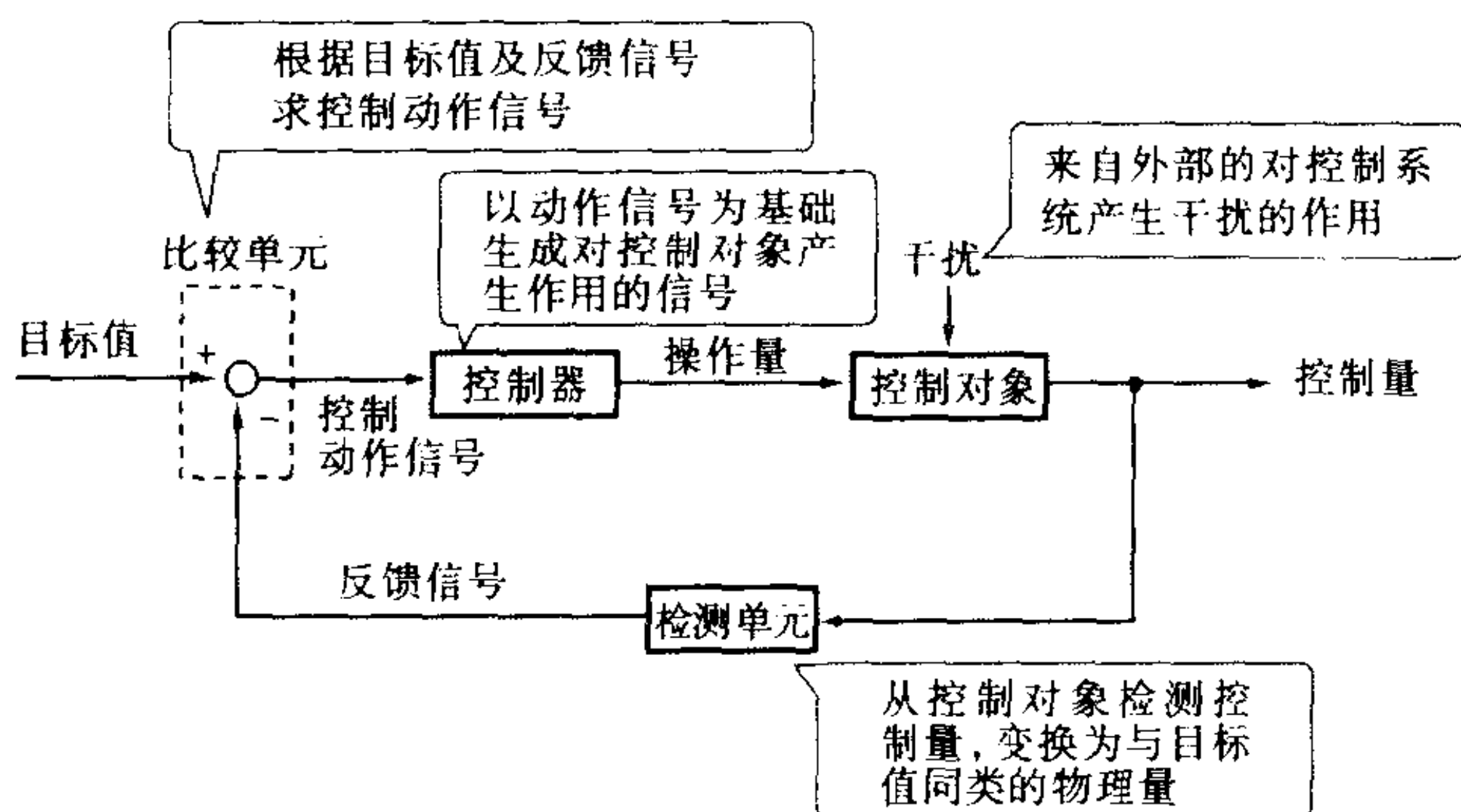


图 3.2 反馈控制系统的构成

3.1.1 反馈控制

图 3.1 为操作者进行水箱液位控制的示意图。操作者观察现在的液面高度(测量), 再与目标值比较(比较、运算), 若与目标值之间有差异, 则开动给水阀, 调节给水量(操作)。

所谓反馈控制就是重复这样的测量→比较、运算→操作的动作, 使得控制量的值与目标值保持一致的控制方式。

图 3.2 为反馈控制系统的构成图。

3.1.2 反馈控制的分类

(a) 根据控制方式的分类

- ① 恒值控制: 目标值保持不变的的控制。
- ② 跟踪控制: 目标值随时间任意变化的控制。
- ③ 程序控制: 目标值随时间按预先规定变化的控制。

(b) 根据控制量的分类

- ① 过程控制: 对温度、压力、浓度等化学反应的控制。
- ② 自动调整: 对电压、频率、转速等的控制。
- ③ 伺服机构: 对物体的位置、角度等运动的控制。

3.1.3 顺序控制

所谓顺序控制是按照预先规定的顺序或组合不断转移控制状态的控制(参见图 3.3)。

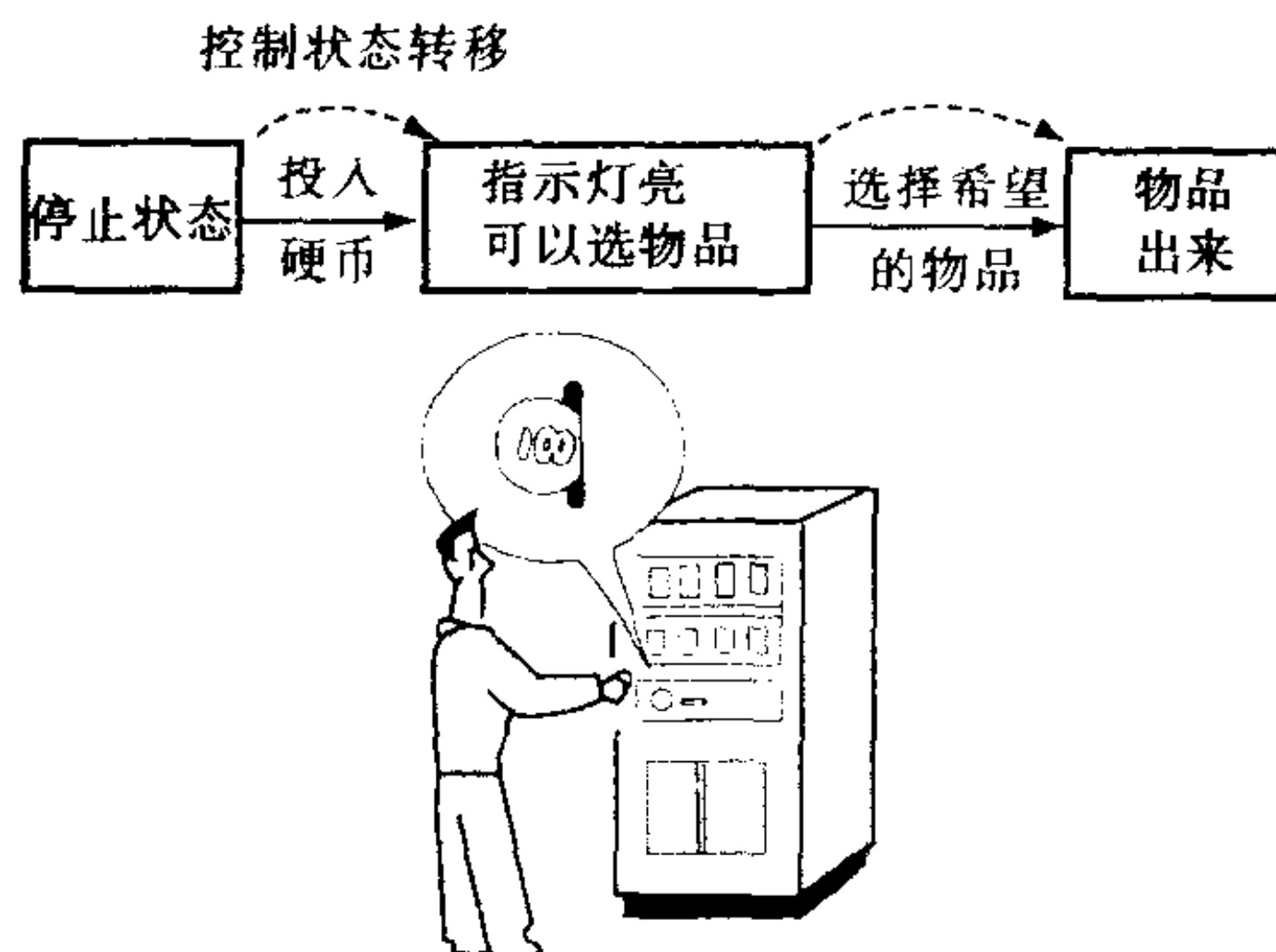


图 3.3 顺序控制

这种控制是对自动售货机、洗衣机、电梯等物体动作顺序及组合进行的控制,是最一般的贴近生活的控制。

反馈控制是通过反馈使控制量与目标值保持一致的控制,而顺序控制是对控制对象进行开关(ON - OFF)控制的 2 值控制。

3.1.4 计算机控制

如 3.1.1 及 3.1.3 小节所述,自动控制的控制方式分为反馈

控制及顺序控制，前者是使控制量的值与目标值保持一致的控制，后者是将控制状态构成某种顺序及组合的控制。在这些控制中正越来越多地使用计算机(参见图 3.4)。

图 3.5 所示为计算机的构成。控制用的计算机多采用 CPU 附加必要的存储器及输入输出电路的微型计算机(微电脑)。

顺序控制正由电磁继电器构成的继电器顺序控制向采用半

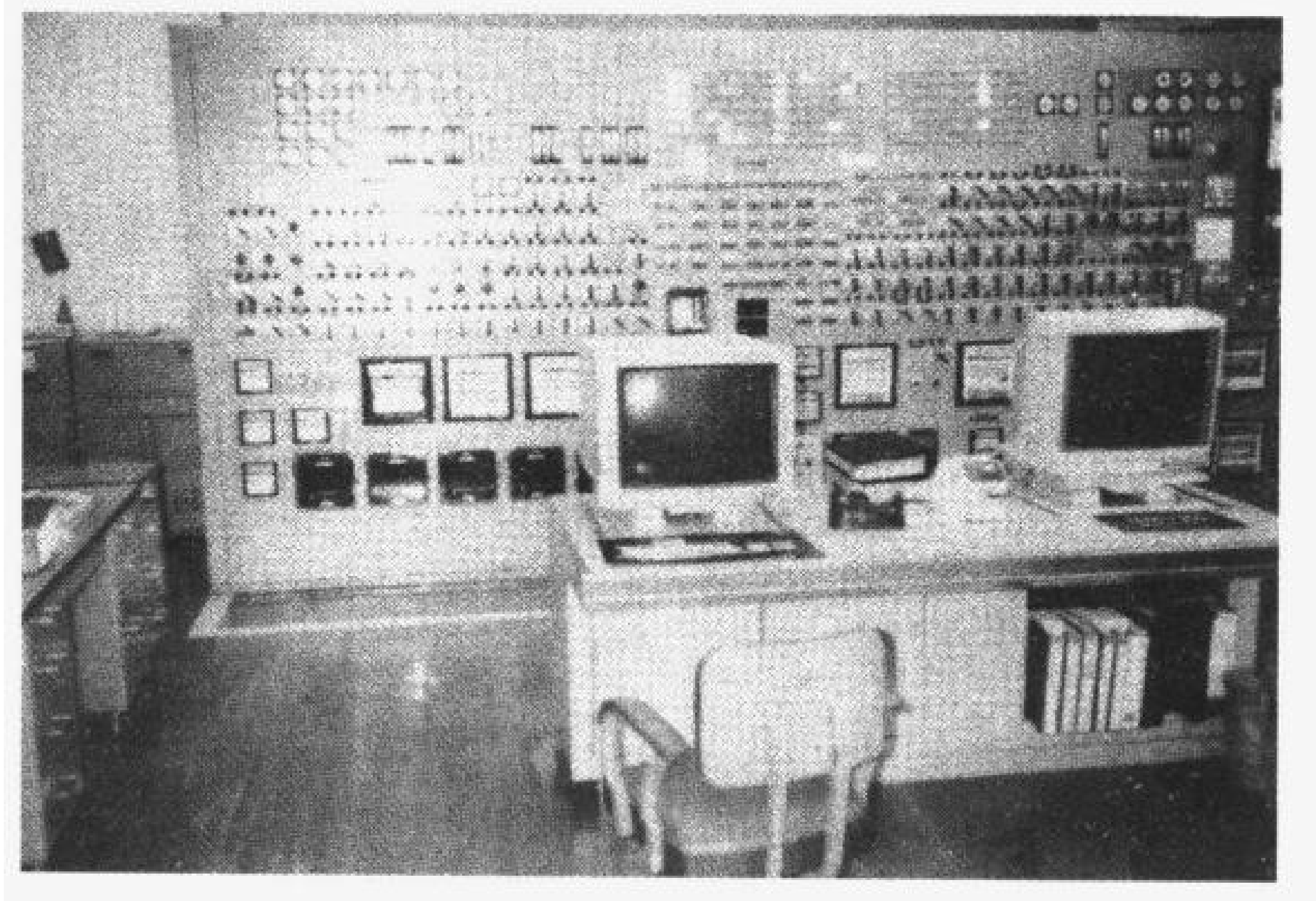


图 3.4 火力发电厂中的计算机集中控制

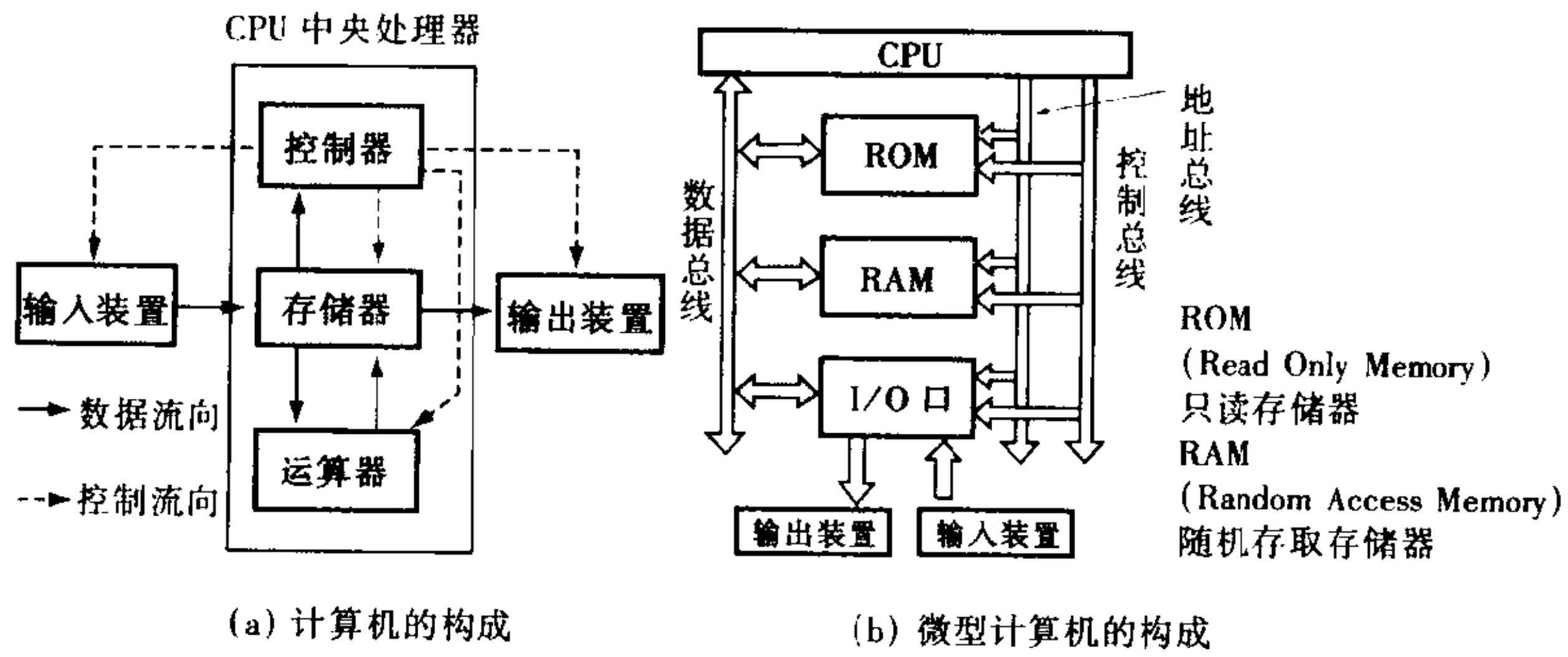


图 3.5 计算机的构成

导体逻辑元件的无触点顺序控制过渡。计算机也是一种顺序控制机器，它对输入输出电路的 2 值信号进行控制。现在进一步由半导体逻辑元件的无触点顺序控制向计算机的利用程序的 2 值控制转变(参见图 3. 6)。

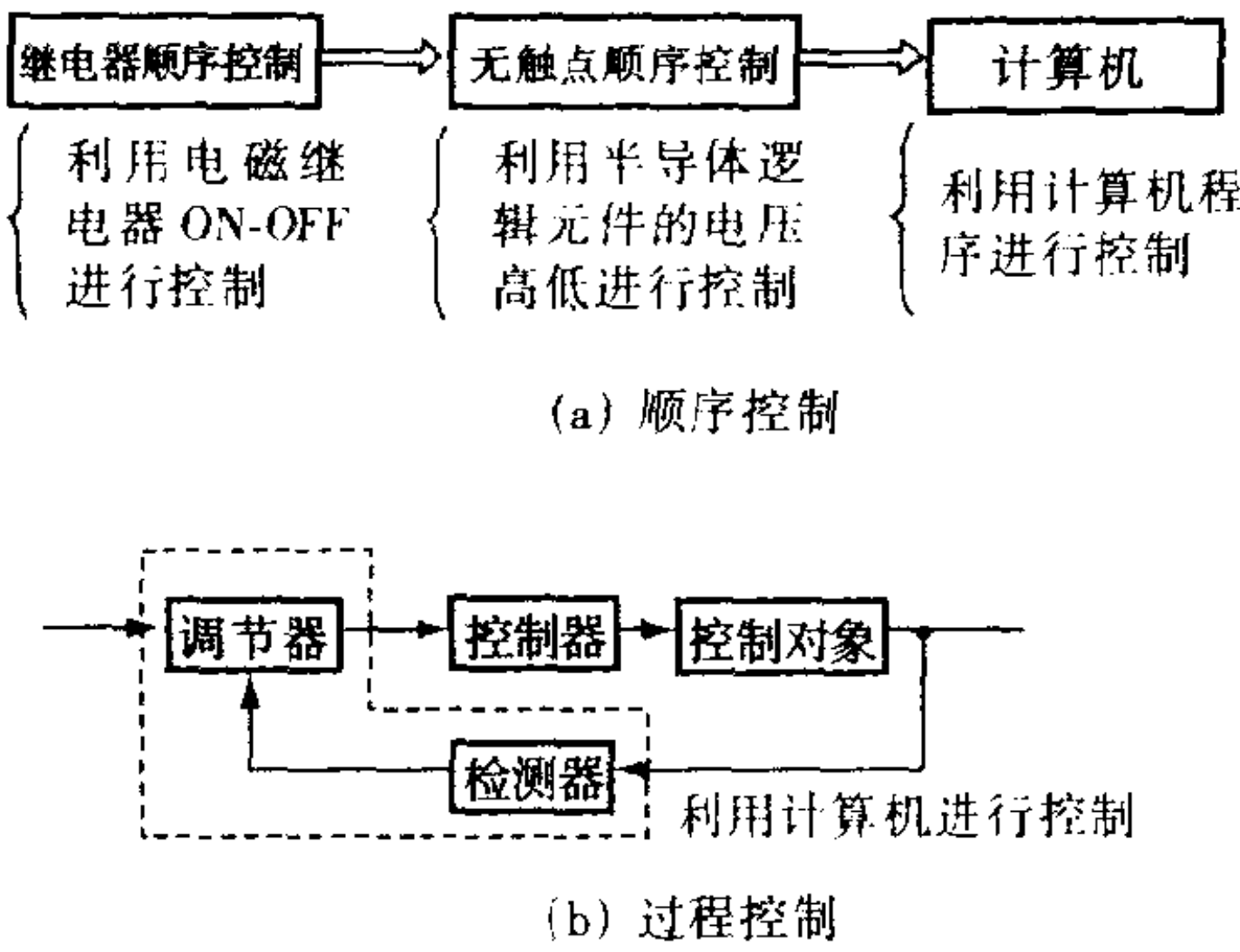


图 3. 6 利用计算机的控制

与半导体逻辑元件构成的顺序控制电路相比，用计算机进行控制具有下列优点：

- ① 利用计算机的 ROM 能够实现小型化。
- ② 当控制电路的要求改变时，只要改变 ROM 的程序即可，而在半导体逻辑元件的情况下则必须改变接线。
- ③ 能够实现更复杂的控制。

计算机是一种顺序控制器，它适合于顺序控制，但仍具有作为计算机的功能。在过程控制中，以往检测－比较－控制的部分是采用模拟调节器，但如果利用计算机控制，则可以通过计算机根据检测与比较结果，瞬时计算最佳控制量进行控制。

3.2 传递函数及框图

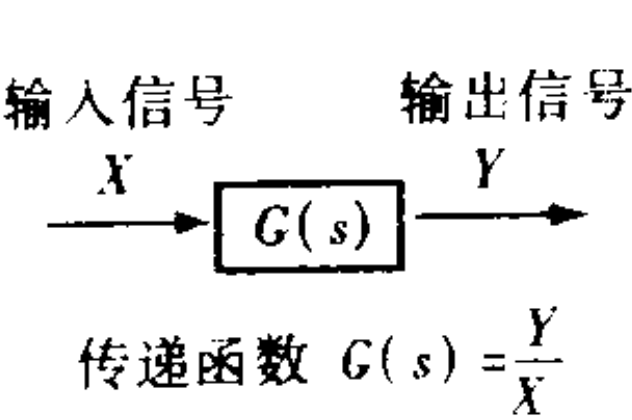


图 3.7 传递函数

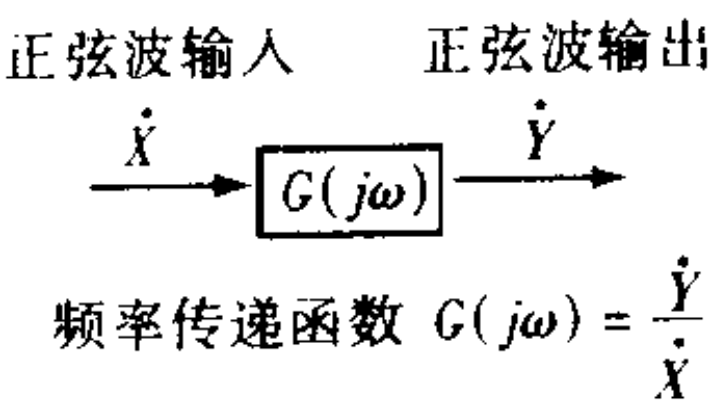
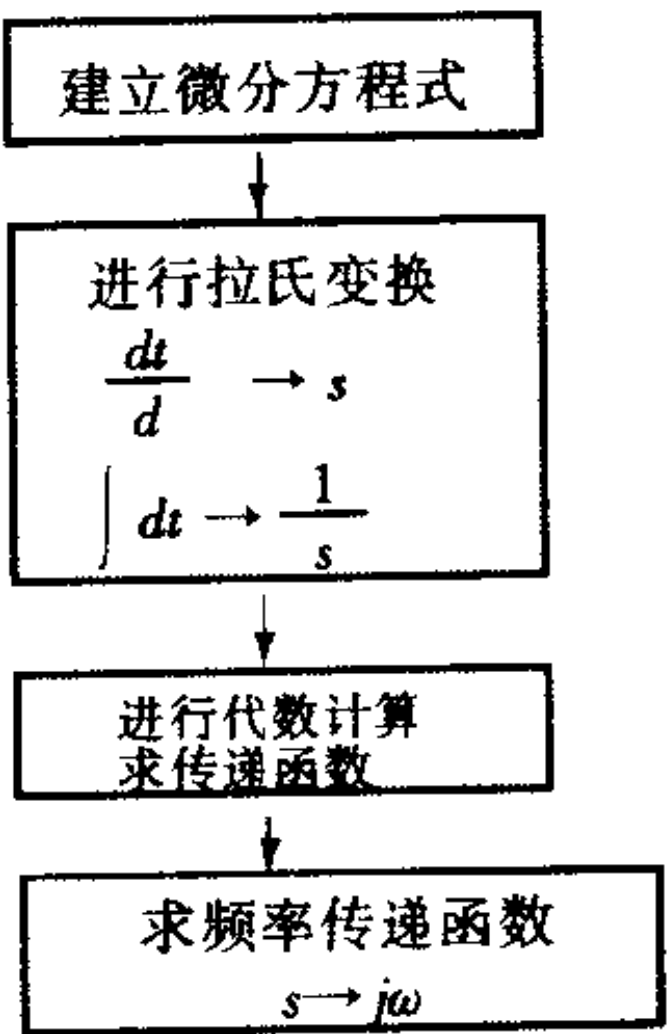
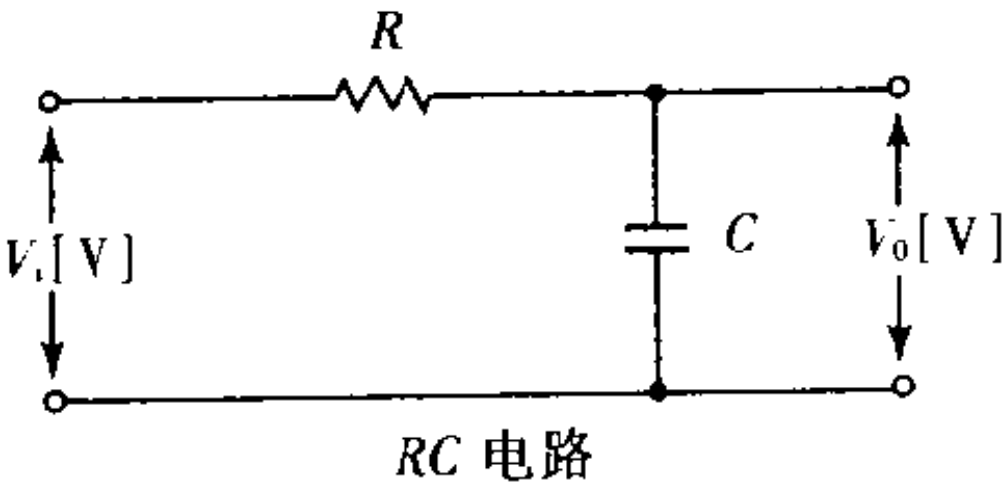
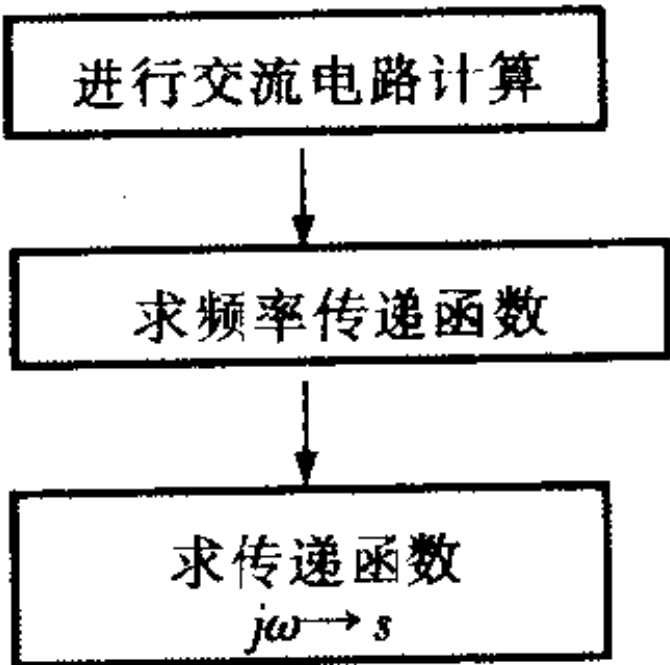


图 3.8 频率传递函数



(a) 利用拉普拉斯变换求得



(b) 利用交流电路计算求得

图 3.9 传递函数的求法

3.2.1 传递函数

传递函数是用数学式表示控制系统的输入信号与输出信号的关系,用拉普拉斯变量 s 表示(参见图 3.7)。

当输入信号为正弦波时,输出信号也为正弦波,传递函数用 $j\omega$ 代替 s 表示,将这叫做频率传递函数(参见图 3.8)。

3.2.2 传递函数的求法

试求图 3.9 的 RC 电路的传递函数。传递函数的求法有利用拉普拉斯变换求得及利用交流电路计算求得两种方法,其步骤如图 3.9 所示,下面表示其求解方法:

(a) 利用拉普拉斯变换求得

$$Ri(t) + \frac{1}{C} \int i(t) dt = V_i(t)$$

$$\frac{1}{C} \int i(t) dt = V_o(t)$$

若进行拉普拉斯变换,则

$$RI(s) + \frac{1}{Cs} I(s) = V_i(s)$$

$$\left(R + \frac{1}{Cs}\right) I(s) = V_i(s)$$

$$\frac{1}{Cs} I(s) = V_o(s)$$

$$G(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{1/(Cs)}{R + 1/(Cs)}$$

$$= \frac{1}{1 + sRC}$$

将 $s \rightarrow j\omega$, 则频率传递函数为

$$G(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

(b) 利用交流电路计算求得

$$\dot{V}_o = \frac{1}{j\omega C} I$$

$$= \frac{1}{j\omega C} \cdot \frac{\dot{V}_i}{R + 1/j\omega C}$$

$$= \frac{\dot{V}_i}{1 + j\omega RC}$$

$$G(j\omega) = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

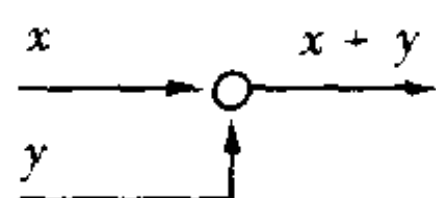
将 $j\omega \rightarrow s$, 则传递函数为

$$G(s) = \frac{1}{1 + sRC}$$

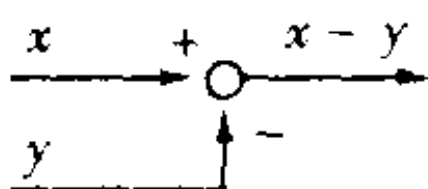
3.2.3 框图

将传递函数用矩形框框住、利用箭头表示信号传递方向的图叫做框图。

在框图中表示信号的相加、相减、分支则如图 3.10 所示。图 3.11 表示框图的等效变换。



(a) 相加



(b) 相减



(c) 分支

图 3.10 信号的表示方法

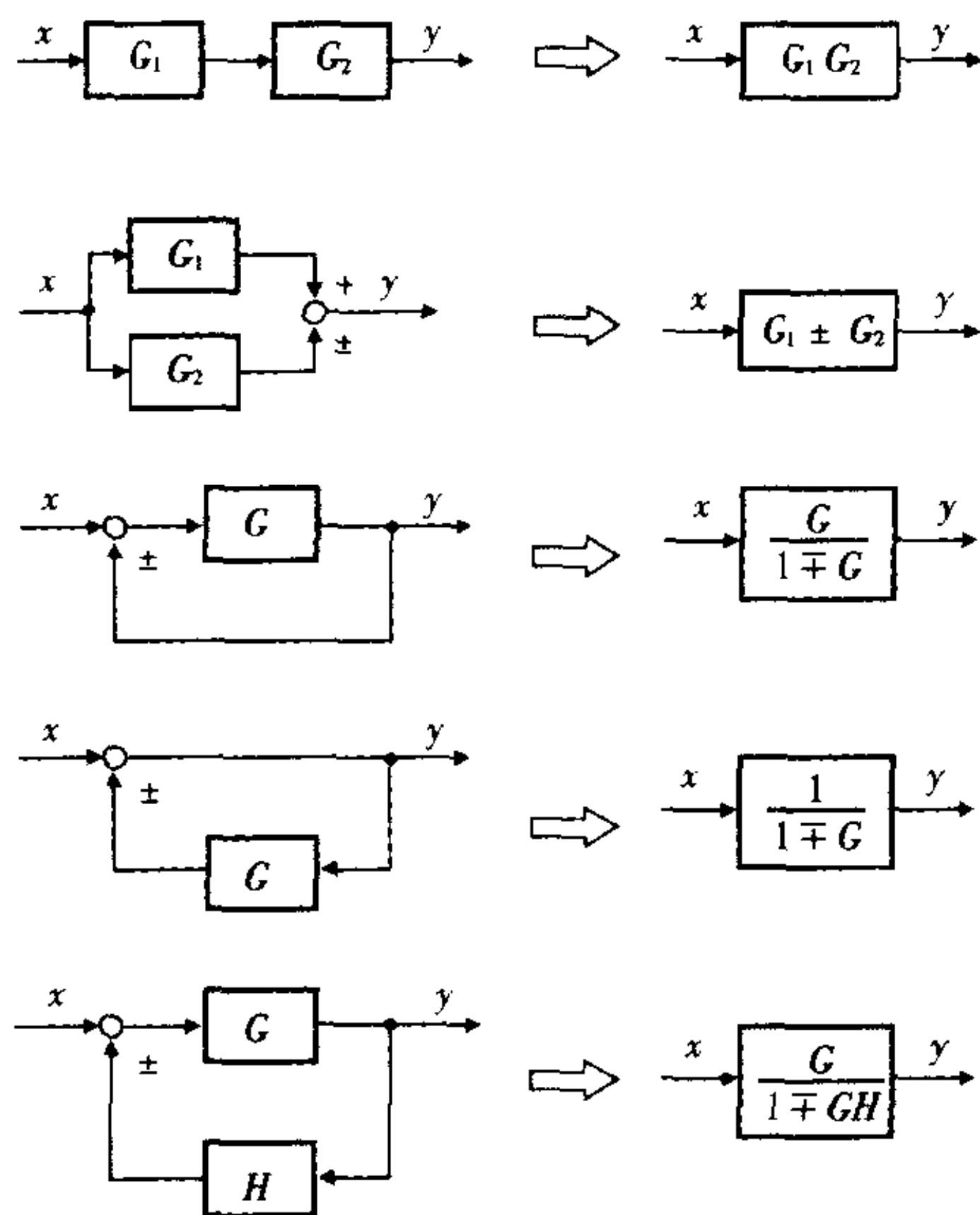


图 3.11 框图的等效变换

例题 求图 3.12(a) 及图 3.13(a) 框图中的传递函数

解： 利用等效变换，可得到如图 3.12(c) 及图 3.13(d) 所示的结果。

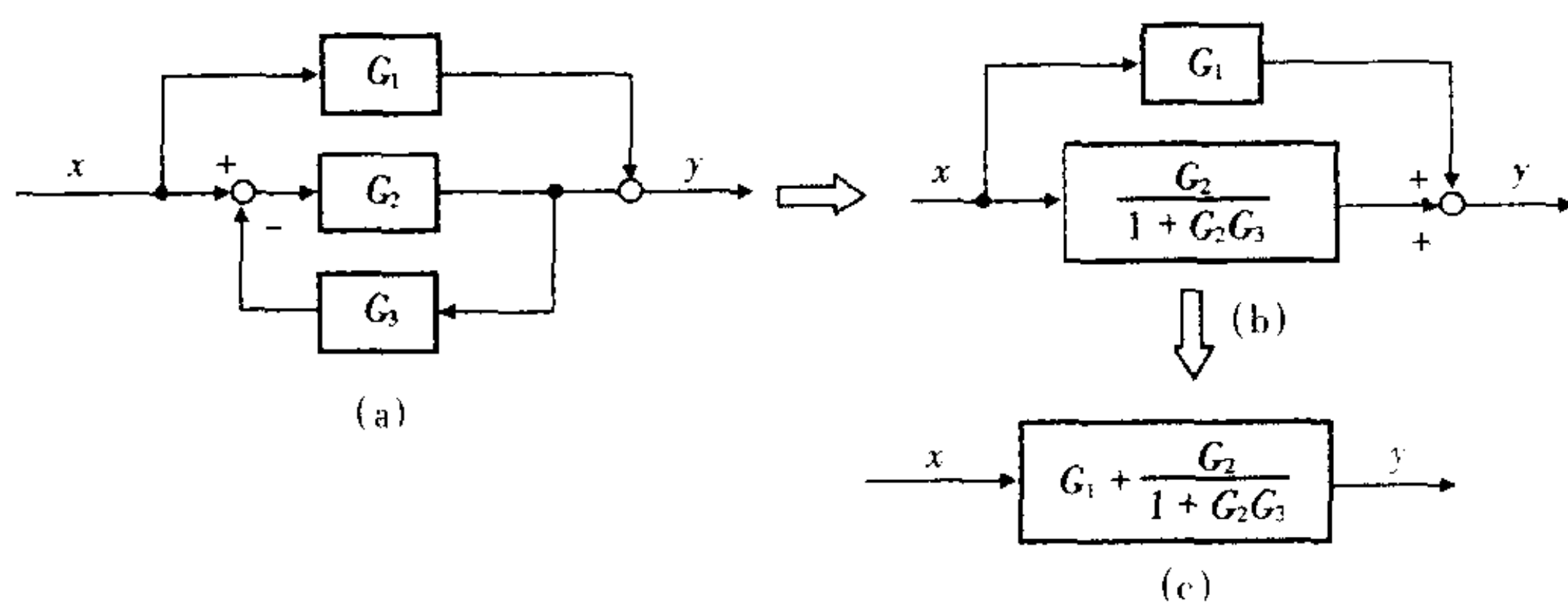


图 3.12 例题(1)

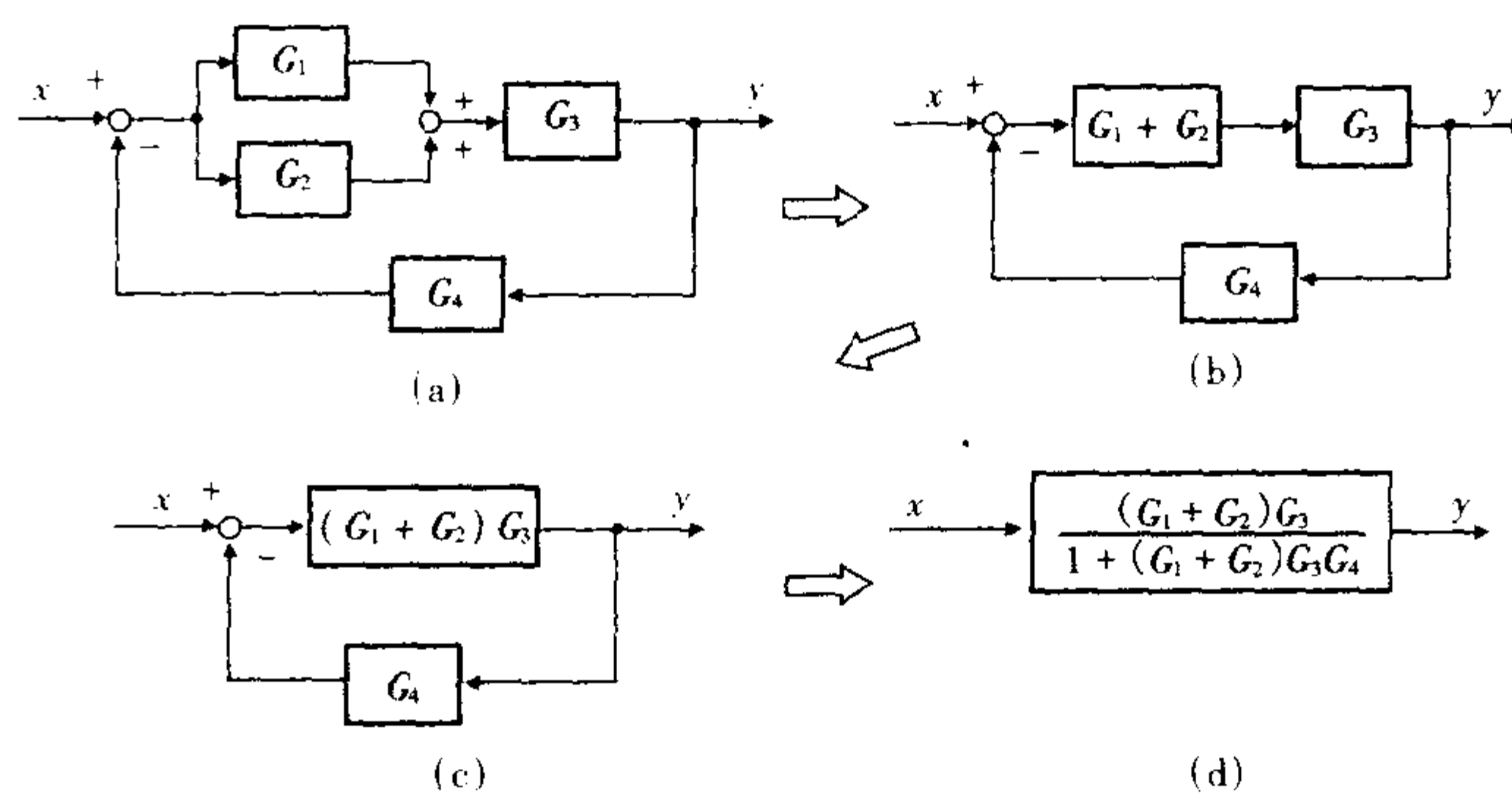
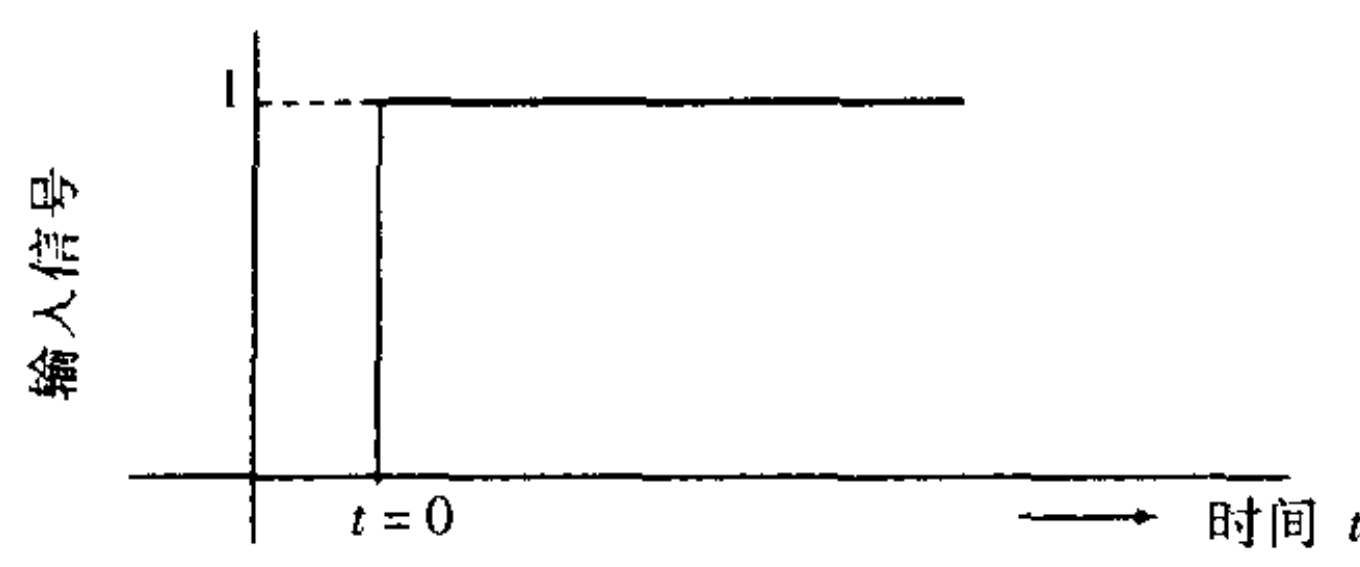


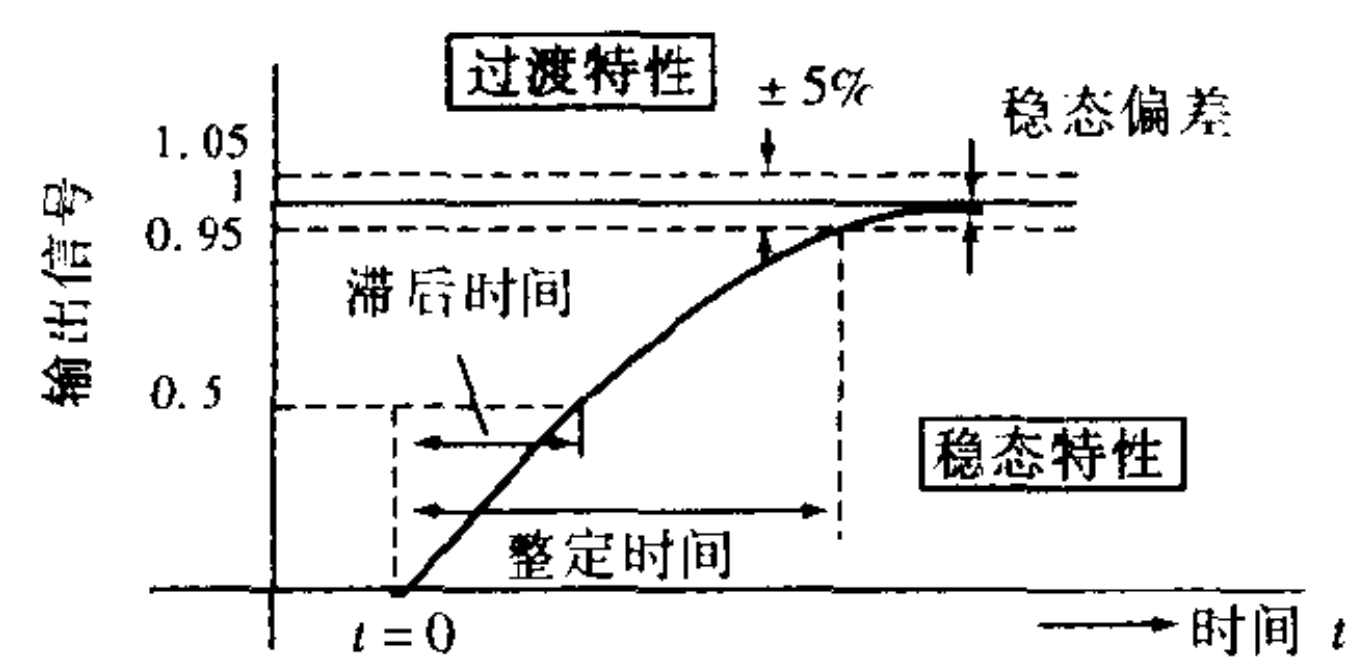
图 3.13 例题(2)

3.3

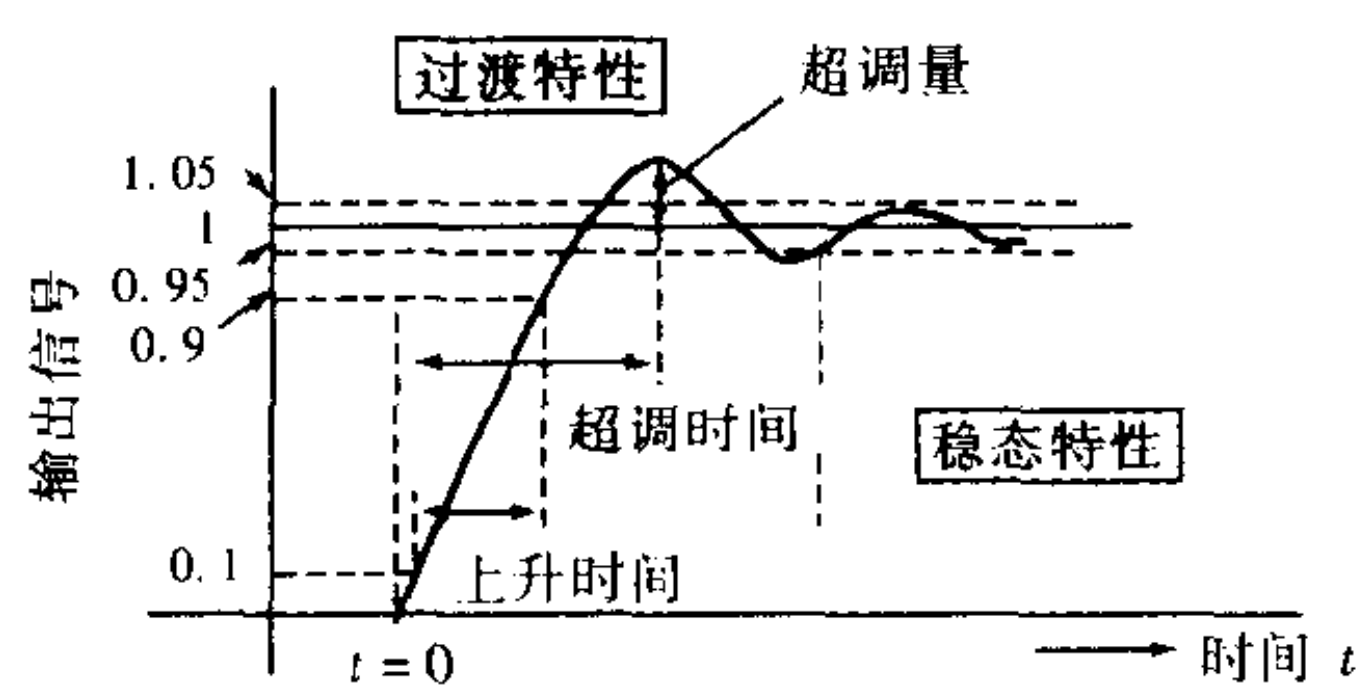
反馈控制系统的特性



(a) 阶跃信号



(b) 一阶滞后



(c) 二阶滞后

图 3.14 阶跃响应

3.3.1 响应

当控制量的目标值变化时或加上干扰时表示控制量随时间如何变化的特性叫做响应，可以根据阶跃响应及频率响应了解控制系统的特性。

3.3.2 阶跃响应

将控制系统输入阶跃信号时的响应叫做阶跃响应（参见图 3.14）。

对于输入信号（目标值）的变化，输出信号（控制量）在时间上滞后响应，这种滞后方式中有一阶滞后及二阶滞后。

3.3.3 频率响应

将控制系统加上正弦波信号时的响应叫做频率响应。在稳态下，频率响应反映为输出信号相对于输入信号的相位滞后（参见图 3.15）。

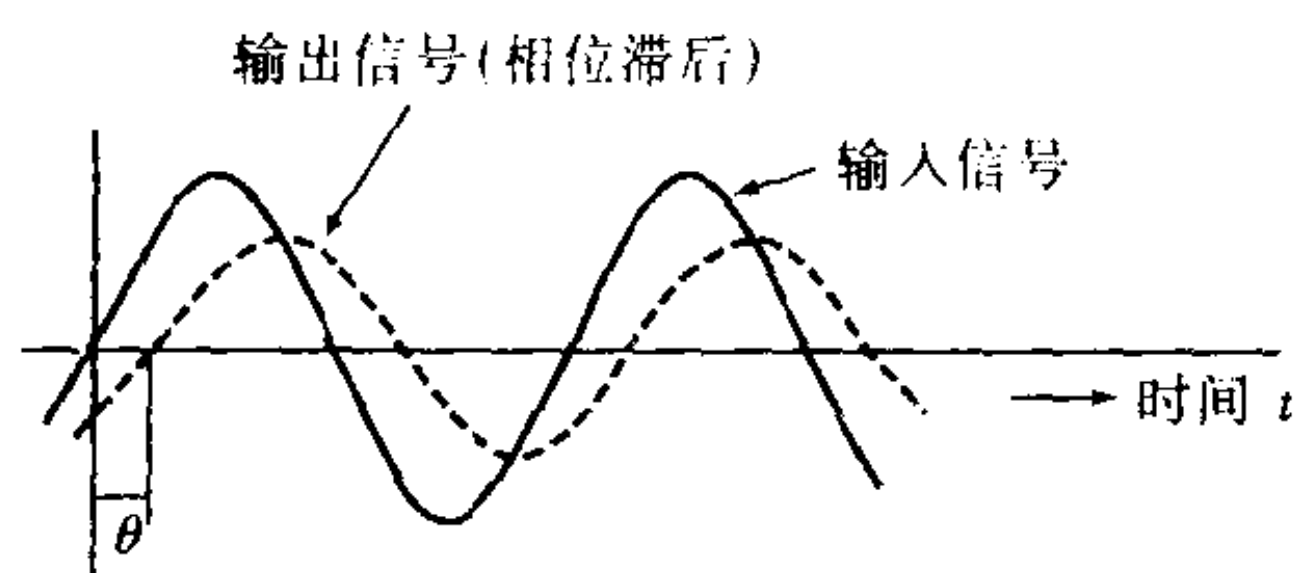


图 3.15 频率响应

3.3.4 频率特性

(a) 奈奎斯特曲线图

绕控制系统中的反馈环一圈，将一圈的频率传递函数中角频率 $\omega = 0 \sim \infty$ 的向量轨迹叫做奈奎斯特曲线图（参见图 3.16）。

(b) 伯德图

伯德图是在频率传递函数中，横轴取角频率 ω 的对数刻度，

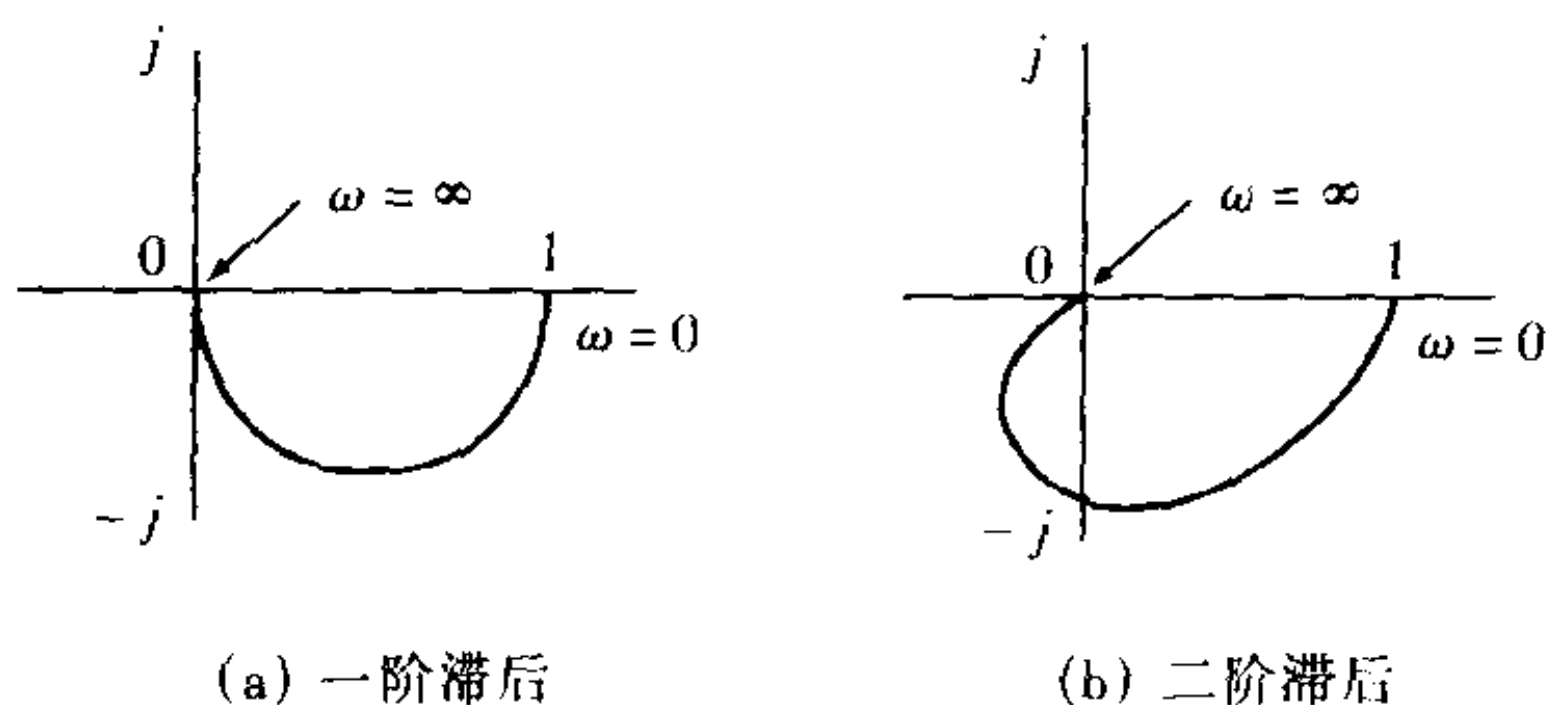


图 3.16 奈奎斯特曲线图

纵轴取增益 [dB] 及相位角 [deg] 的等分刻度, 以此画出的曲线图 (参见图 3. 17)。

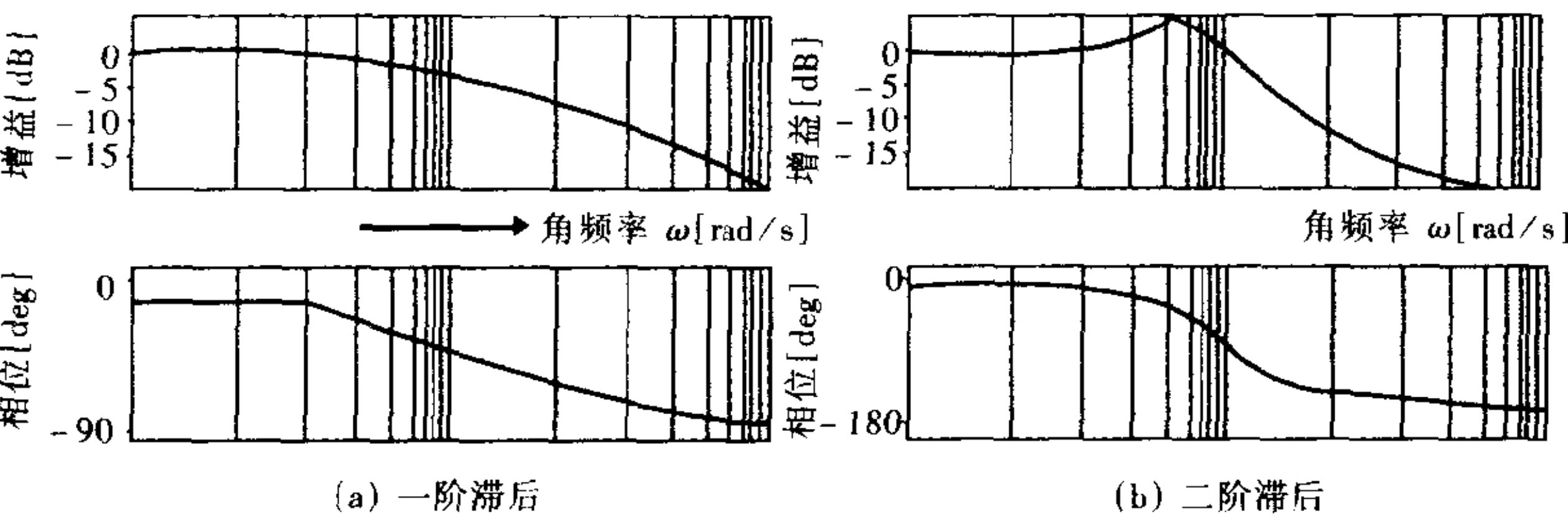


图 3. 17 伯德图

3. 3. 5 稳定性判别

反馈控制中一旦控制量偏离目标值, 就进行控制使控制量与目标值一致。当其响应随着时间而衰减时, 该控制系统是稳定的。反之, 当响应随着时间而增大时, 该控制系统是不稳定的 (参见图 3. 18)。

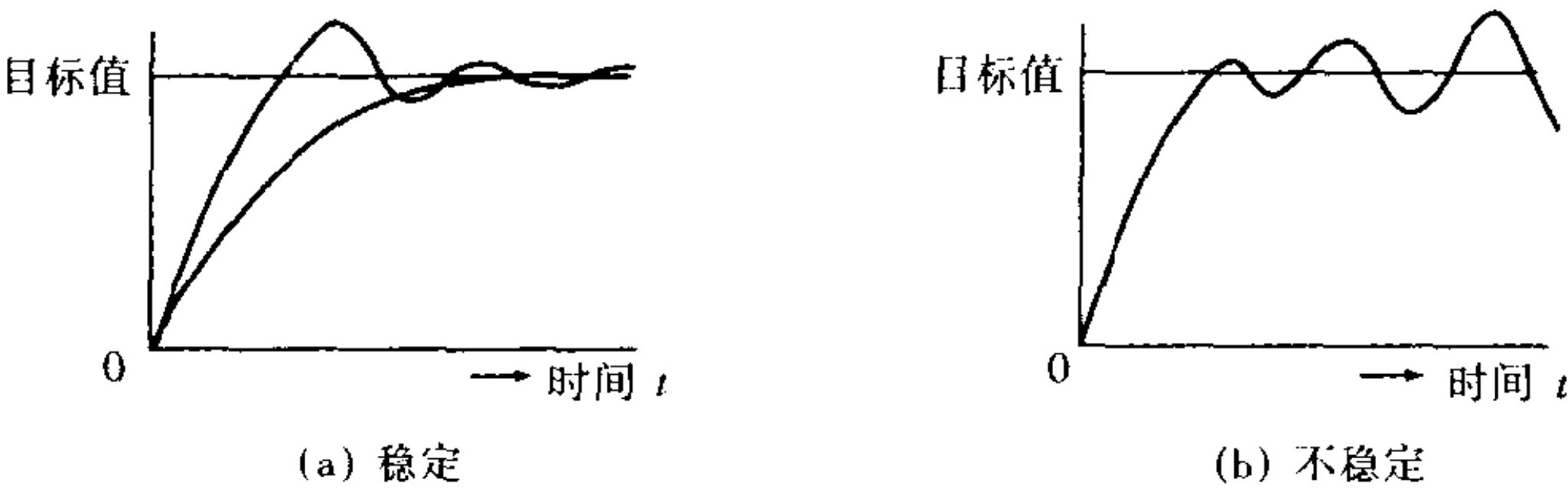


图 3. 18 阶跃响应的稳定性

判断控制系统是稳定的还是不稳定的, 有下列的方法:

(a) 利用奈奎斯特曲线图的方法

绕控制系统中的反馈环一圈, 描绘出一圈的频率传递函数的奈奎斯特曲线图。

向量从 $\omega = 0$ 时实轴的正方向开始向负方向旋转, 最后在增益为零的原点处结束。相对于向量轨迹的前进方向, 若 $(-1, 0)$ 点位于左边, 则控制系统是稳定的; 若位于右边, 则系统是不稳定的 (参见图 3. 19)。

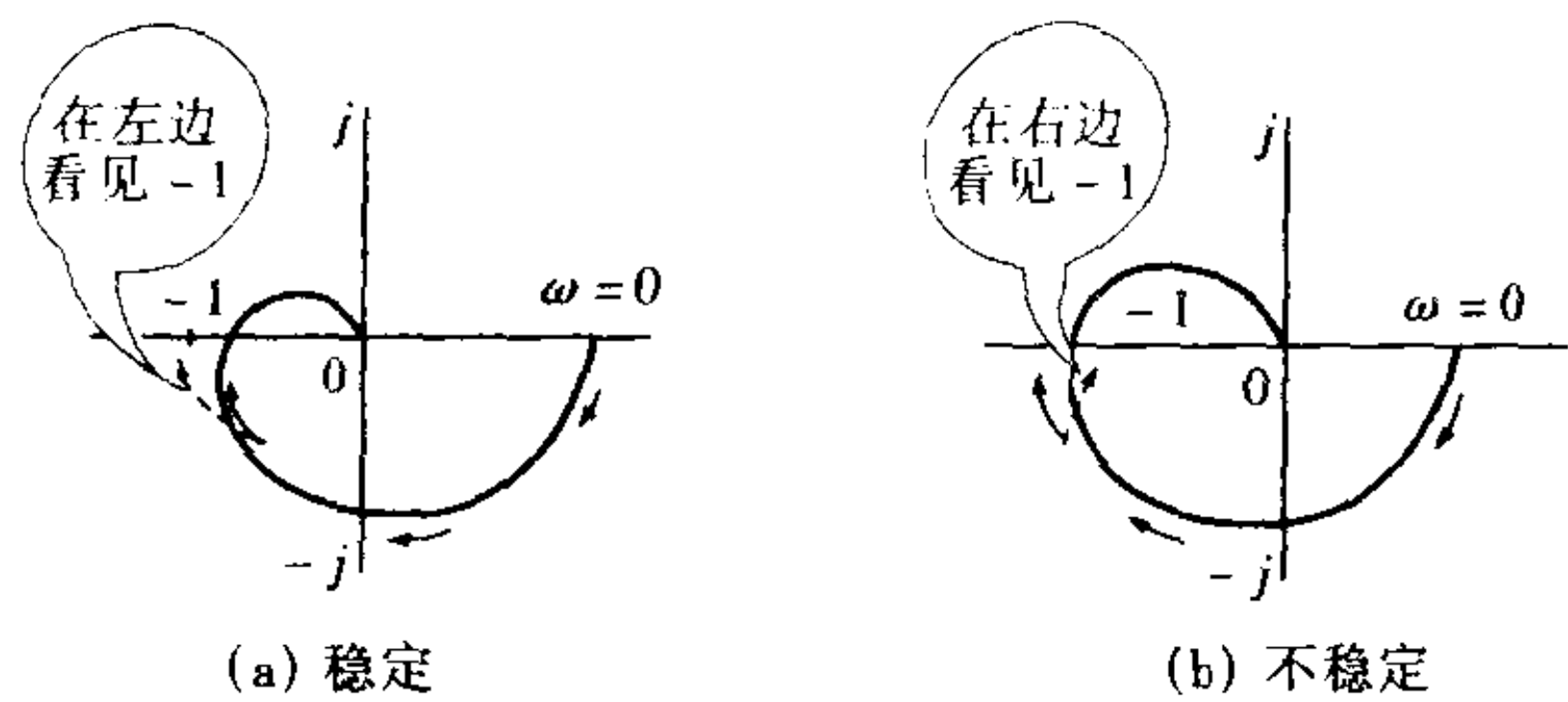


图 3.19 利用奈奎斯特曲线图的稳定判别

(b) 利用伯德图的方法

描绘出绕控制系统一圈的频率传递函数的伯德图，当增益为 0dB 时的相位角在 -180° 与 0° 之间，或者当相位角为 -180° 时的增益为负，是系统为稳定的条件(参见图 3.20)。

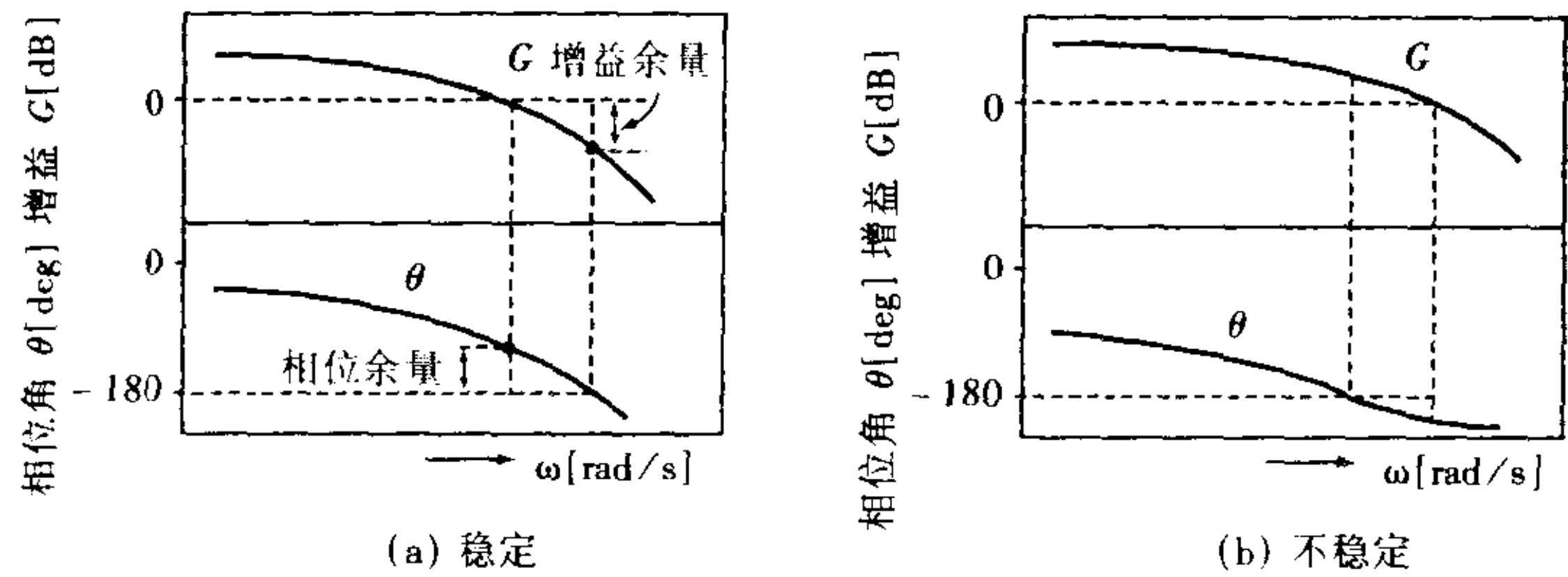


图 3.20 利用伯德图的稳定判别

3.4

继电器顺序控制

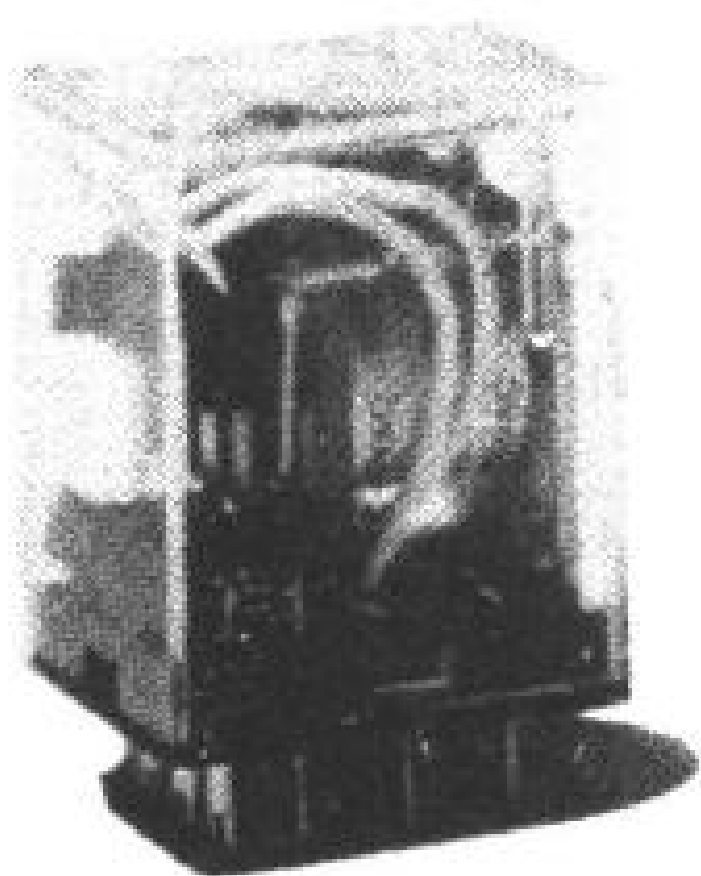


图 3.21 电磁继电器

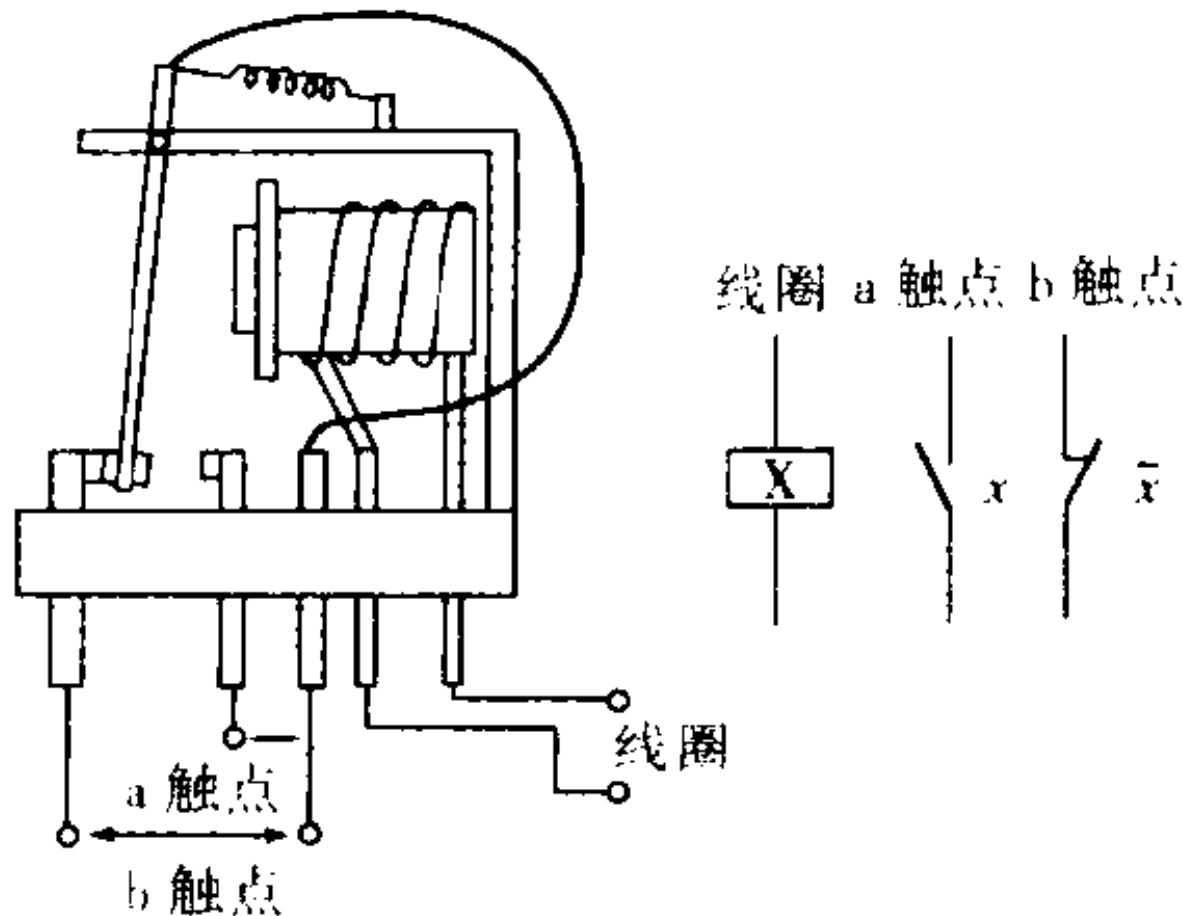


图 3.22 电磁继电器的构造

开闭触点的名称	图形符号	
	a 触点	b 触点
按钮开关		
刀开关		
电磁继电器		
时间继电器 (延时动作)		

(a) 开闭触点的图形符号

零部件的名称	图形符号
电动机	
指示灯	
电磁继电器	

(b) 零部件的图形符号

图 3.23 顺序控制电路的图形符号

3.4.1 继电器顺序控制

顺序控制是控制物体动作的顺序及组合。把接通控制对象（电动机或灯泡等）电源的电磁继电器作为直接控制元件的顺序控制叫做继电器顺序控制。图 3.21 所示为电磁继电器的外形，图 3.22 为电磁继电器的构造。

电磁继电器的控制是利用线圈中通电还是不通电来进行的，是利用通、断(ON, OFF)的 2 值进行控制的。根据逻辑式建立的逻

辑电路是利用各开闭触点构成的。

图 3.23 所示为继电器顺序控制电路所用的图形符号。

3.4.2 逻辑电路

继电器顺序控制中的基本逻辑电路如下所示：

(a) 与(AND)电路(参见图 3.24)

逻辑式 $L = a \cdot b$

(b) 或(OR)电路(参见图 3.25)

逻辑式 $L = a + b$

(c) 非(NOT)电路(参见图 3.26)

逻辑式 $L = \bar{a}$

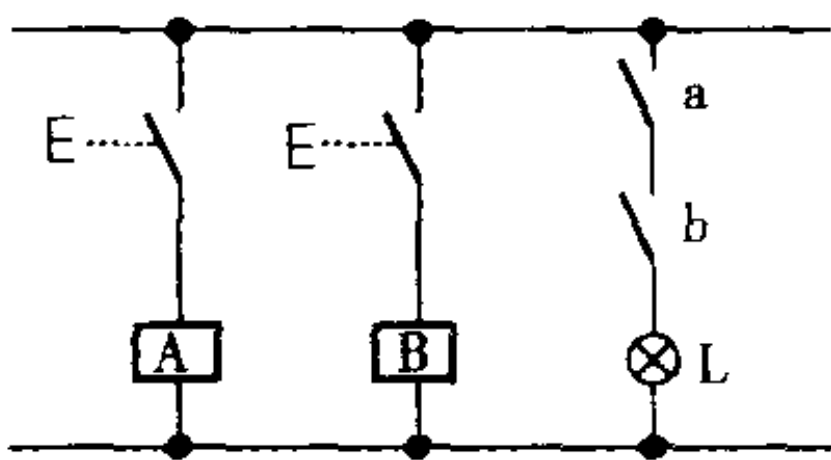


图 3.24 与(AND)电路

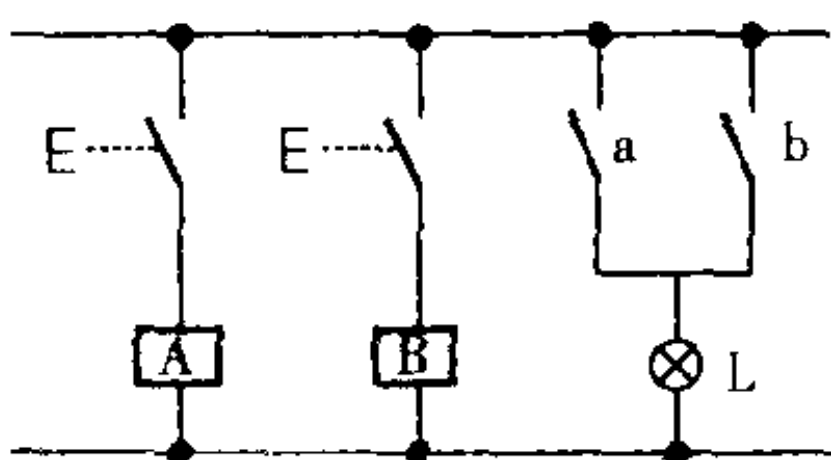


图 3.25 或(OR)电路

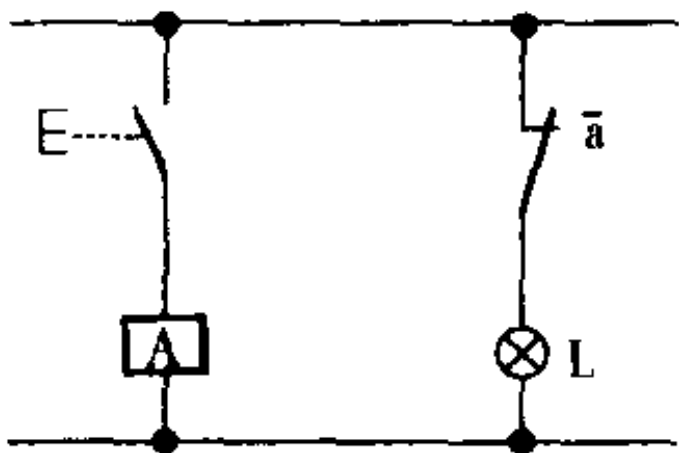


图 3.26 非(NOT)电路

3.4.3 逻辑式的基本定律

交换律	$A \cdot B = B \cdot A$	结合律	$(A + B) + C = A + (B + C)$
	$A + B = B + A$		$(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$
分配律	$A + B \cdot C = (A + B)(A + C)$	双重否定	$\overline{(\bar{A})} = A$
	$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$		
吸收律	$A + A \cdot B = A$	摩根定律	$\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$
	$A \cdot (A + B) = A$		$\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$

逻辑积及逻辑和

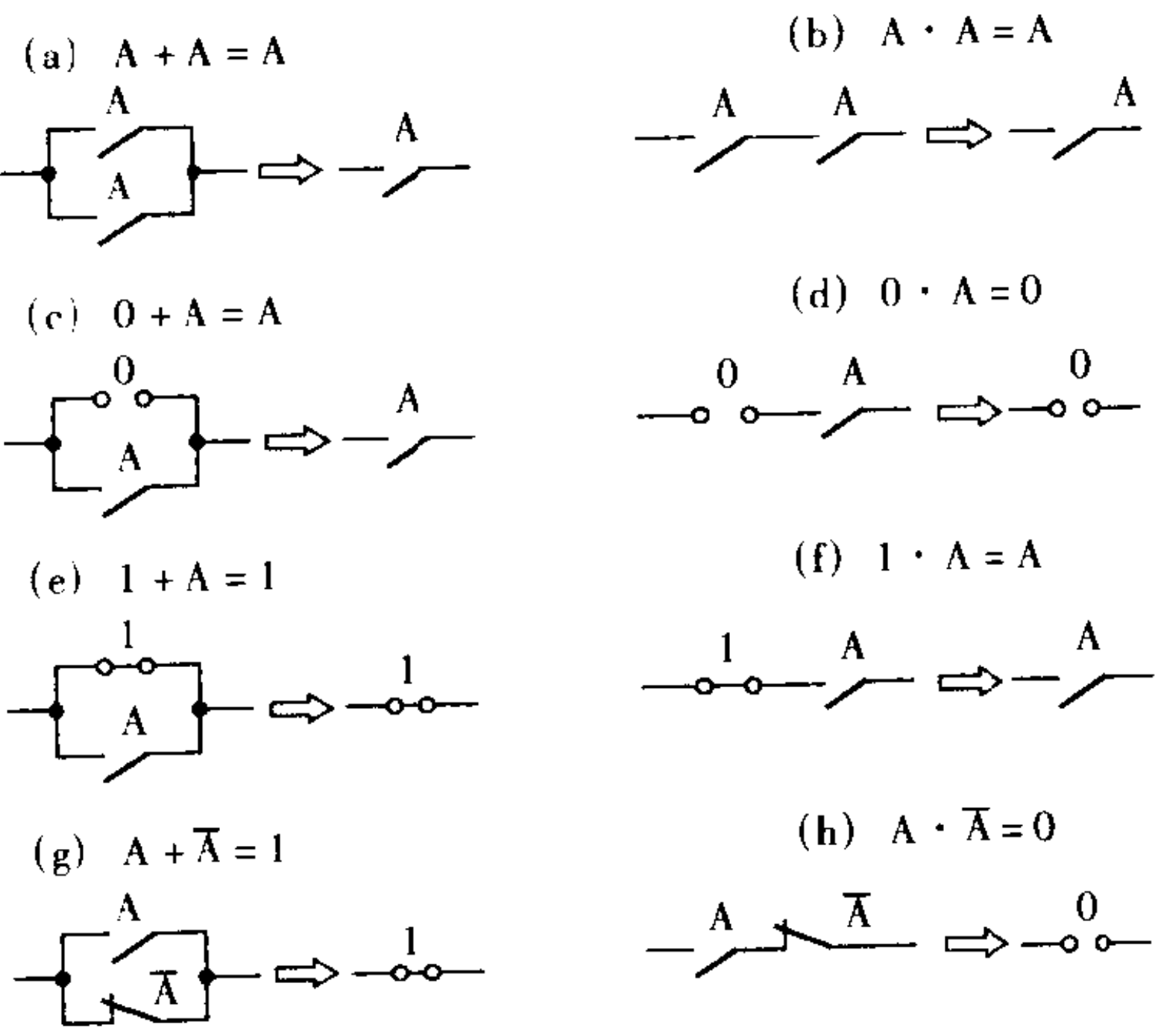
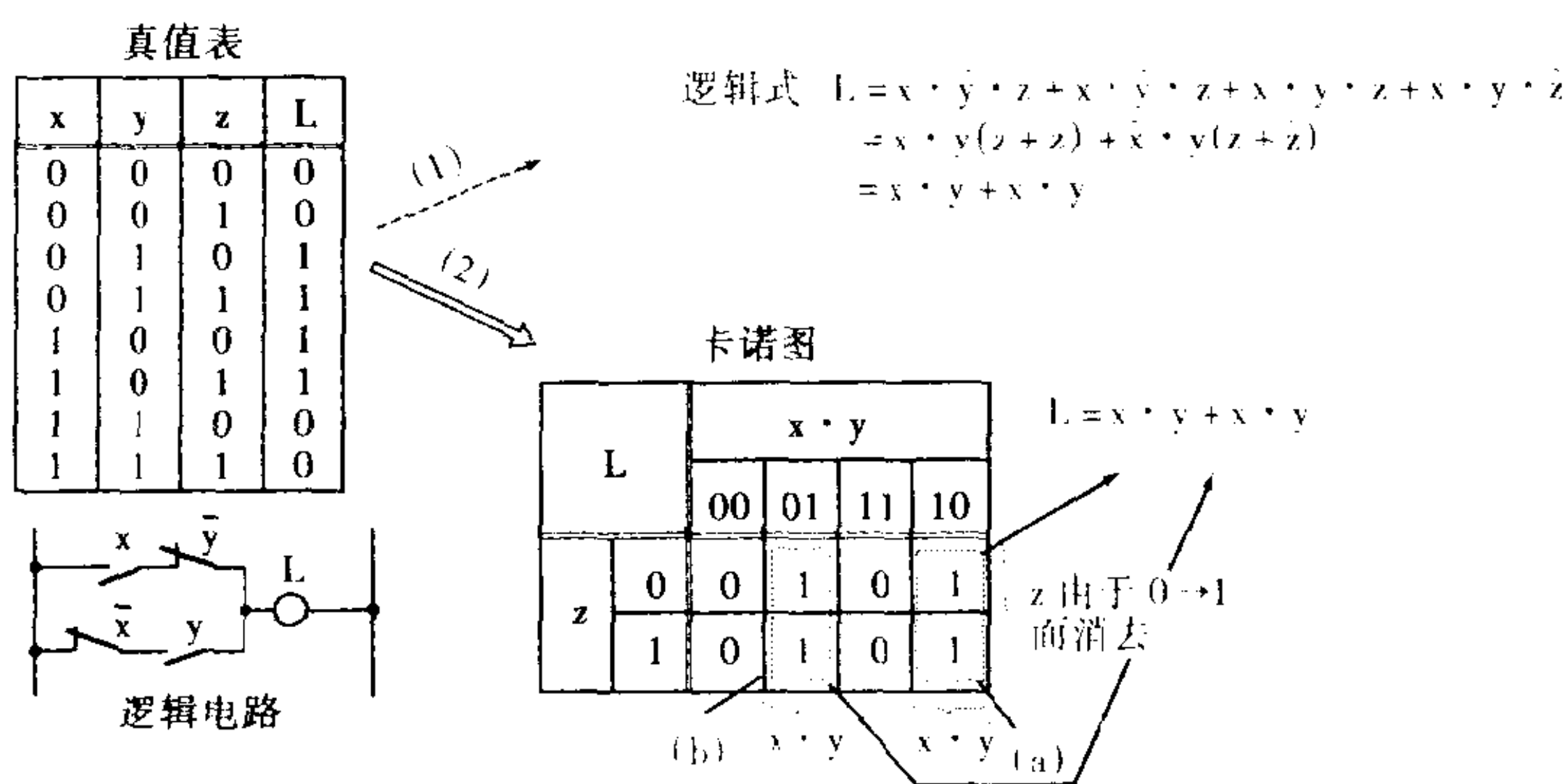
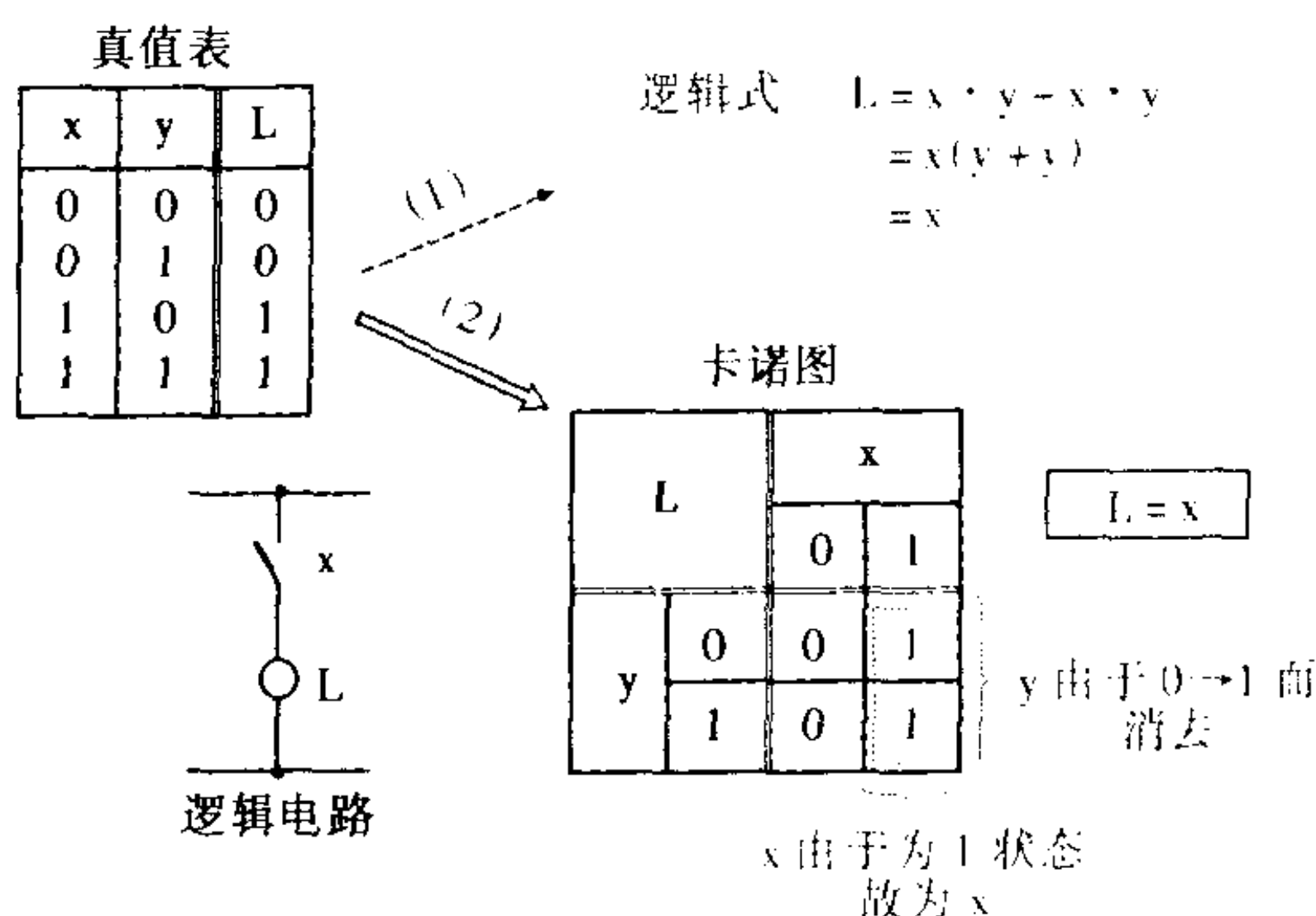


图 3.27 逻辑式的基本定律

3.5 利用卡诺图简化逻辑式



3.5.1 2 变量

图 3.28 是简化 2 变量逻辑式的情况。(1)的方法是根据表示 x 及 y 的 2 变量关系的真值表建立逻辑式，再对逻辑式进行简化。(2)的方法是利用卡诺图的逻辑式简化。简化的步骤如下所述。

将真值表输出 L 的状态画在卡诺图中。在卡诺图中，考虑 2^n 个 L 为 1 的数据组来看 x 及 y 的 0 与 1 的关系。在输出 L 为 1 的

数据组中,若变量的值从 $0 \rightarrow 1$ 或 $1 \rightarrow 0$,则该变量消去。若 $1 \rightarrow 1$,则变量为1;若 $0 \rightarrow 0$,则变量为0。

在图 3.28 的卡诺图情况下, x 为 1, y 消去, 则 $L = x$ 。

在图 3.30 的卡诺图情况下, $L = \bar{y}$ 。

$L = \bar{y}$

L		x	
		0	1
y	0	1	1
	1	0	0

x 由于 $0 \rightarrow 1$ 而消去

图 3.30 例 1

$L = x$

L		x · y			
		00	01	11	10
z	0	0	0	1	1
	1	0	0	1	1

z 消去

图 3.31 例 2

3.5.2 3 变量

图 3.29 为 3 变量情况的简化过程。(a)组中,由于 z 是 $0 \rightarrow 1$,故消去,而 $x \cdot y$ 为 1 0 状态,故写成 $x \cdot \bar{y}$ 。另外,从(b)组求得 $\bar{x} \cdot y$,因此 $L = x \cdot \bar{y} + \bar{x} \cdot y$ 。

在图 3.31 的卡诺图中,考虑集中了 4 个 1 的数据组。 z 是 $0 \rightarrow 1$,故消去。 $x \cdot y$ 是 1 1 \rightarrow 1 0,故 x 为 1 保持不变,而 y 是 $1 \rightarrow 0$,则消去,所以 $L = x$ 。

在图 3.32 的卡诺图中,不考虑 6 个 1 的数据组(因只考虑 2^n 个形成的数据组),将其看成是两个集中了 4 个 1 的数据组,故 $L = x + y$ 。

$L = x + y$

L		x · y			
		00	01	11	10
z	0	0	1	1	1
	1	0	1	1	1

z 消去

(b) y x (a)

图 3.32 例 3

$L = x_1 \cdot y_2 + \bar{x}_2$

L		x ₁ · x ₂			
		00	01	11	10
y ₁ · y ₂	00	1			1
	01	1		1	1
	11	1		1	1
	10	1			1

y₁ · y₂ 消去

(a) x₁ x₂ (b)

图 3.33 例 4

3.5.3 4 变量

图 3.34 为 4 变量的卡诺图。将(a)组的 $x_1 \cdot x_2$ 考虑从当中分开, $x_1 \cdot x_2$ 相应左半边为 0 0、0 1, 而右半边为 1 1、1 0, x_1 为 0、0 \rightarrow 1、1。而 x_2 为 0、1 \rightarrow 1、0, 由于两边都是 0、1 之间变化, 故消去。而 $y_1 \cdot y_2$ 为 0、0 \rightarrow 0、1, 故 y_2 消去, 而 y_1 为 0 \rightarrow 0, 故求出为 \bar{y}_1 。

对于(b)组用同样方法求出为 x_1 , 所以输出 $L = x_1 + \bar{y}_1$ 。

在图 3.33 的卡诺图中, (a)组求得 \bar{x}_2 , (b)组求得 $x_1 \cdot y_2$, 故输出 $L = x_1 \cdot y_2 + \bar{x}_2$ 。

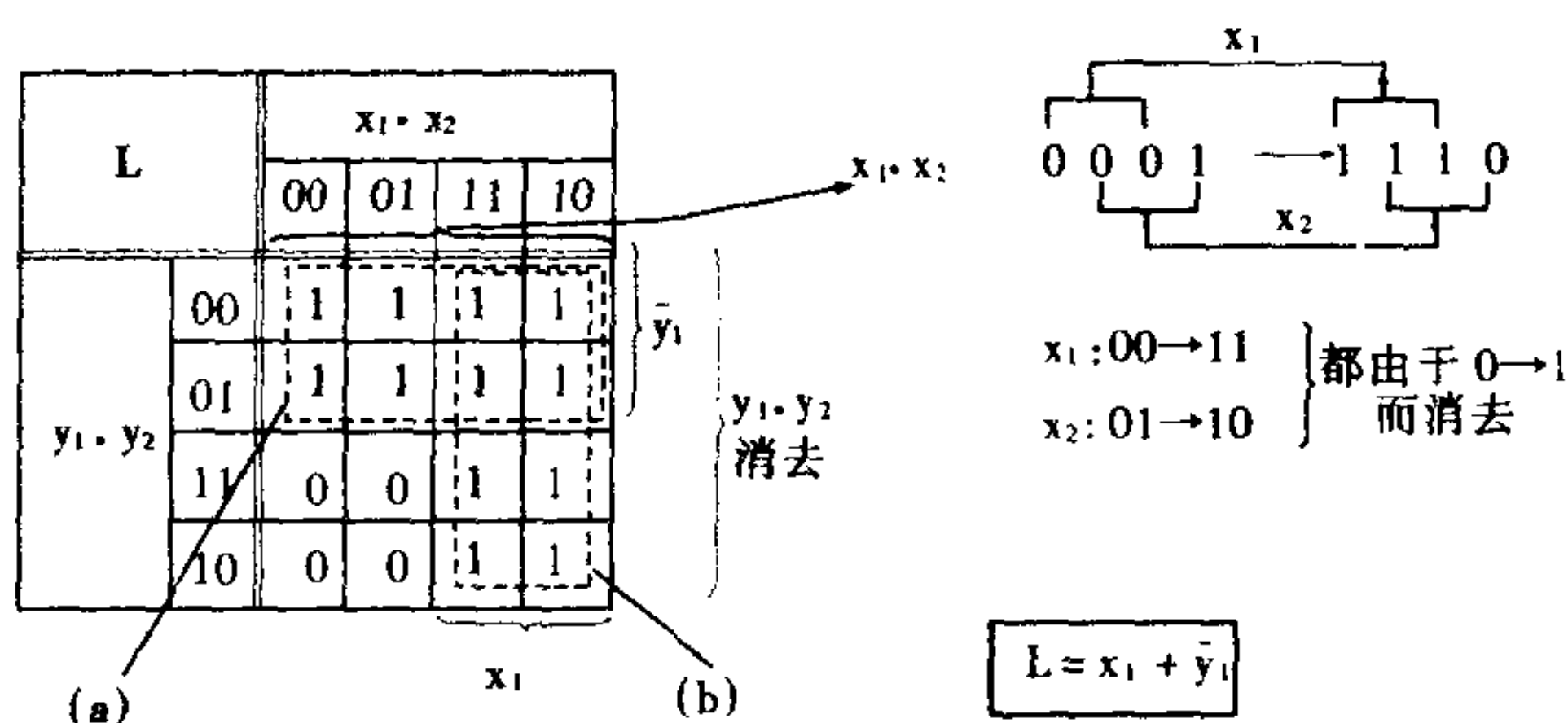


图 3.34 4 变量的卡诺图

3.6

顺序控制电路的设计

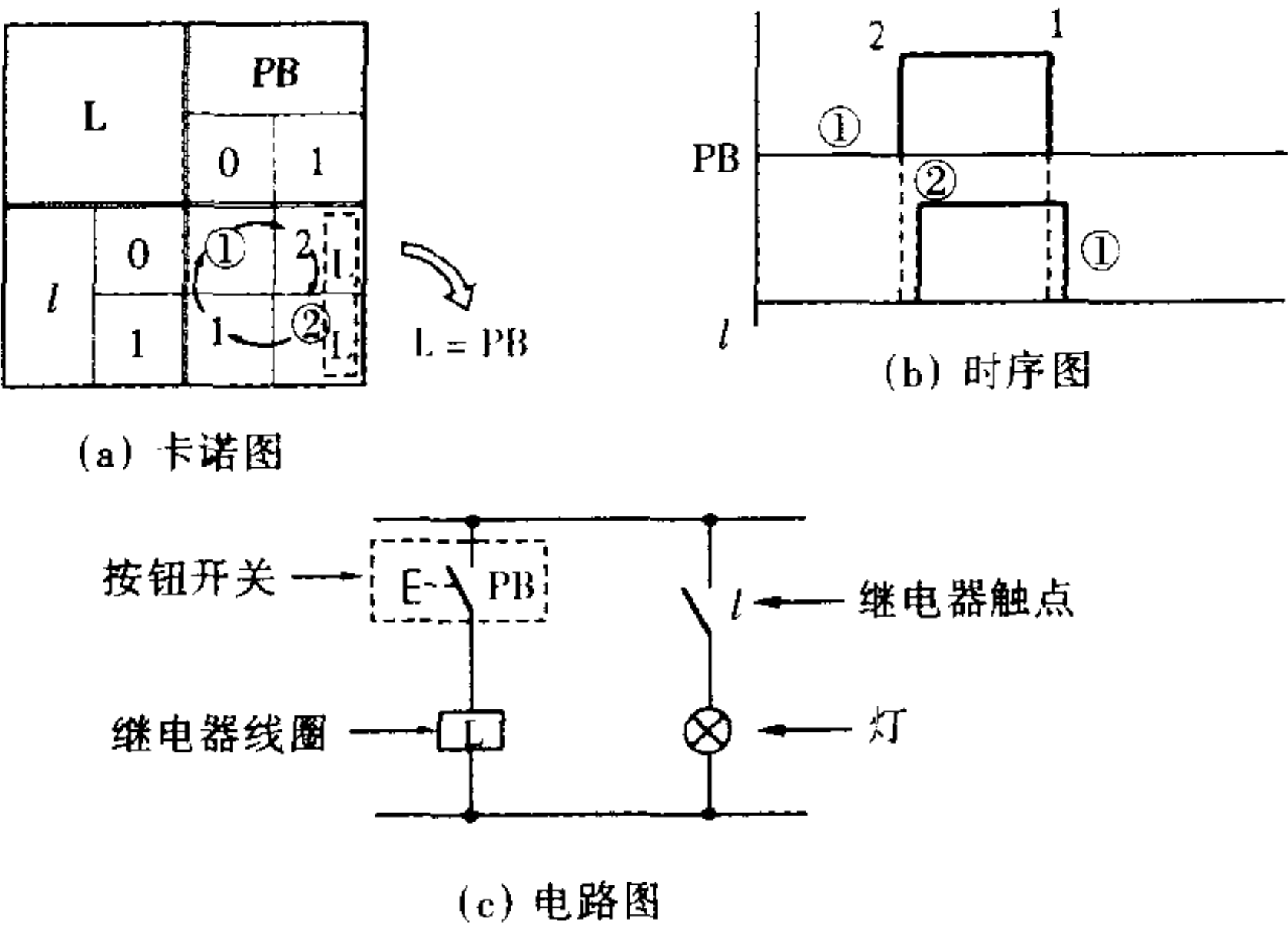


图 3.35 顺序控制电路的设计 1

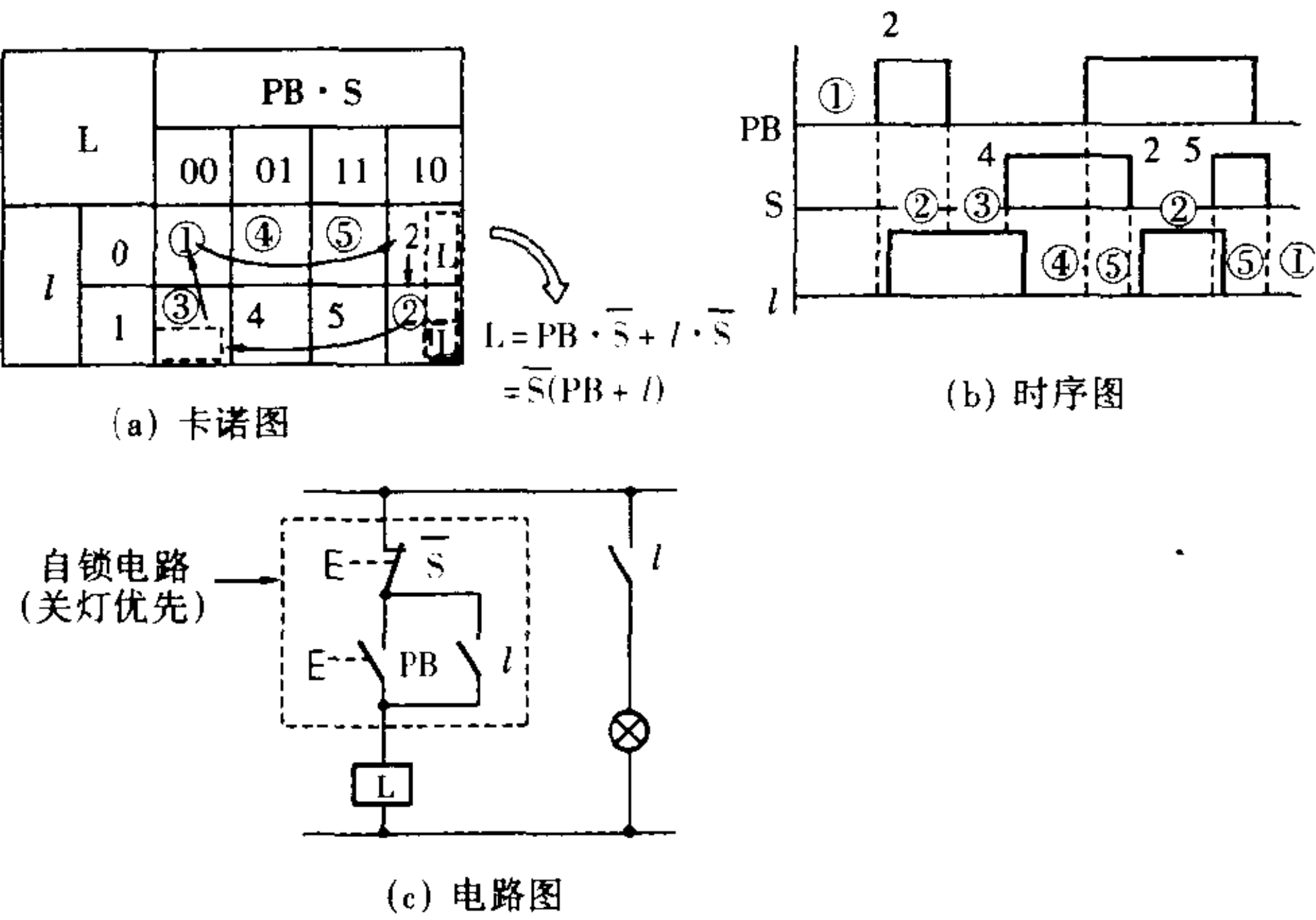


图 3.36 顺序控制电路的设计 2

3.6.1 设计条件

顺序控制是对物体动作的顺序或组合进行控制。电路设计要逐步考虑卡诺图中其动作的转移。

关于灯泡点灯的操作按下列条件进行设计

- ① 灯泡点灯的电磁继电器为 L, 其触点为 l 。
- ② 设点灯按钮为 PB, 关灯按钮为 S, 都采用按钮开关。

3.6.2 设计 1(灯泡点灯)

条件: 若按下点灯按钮 PB, 则灯泡点灯。

若放开点灯按钮 PB, 则灯泡关灯。

动作的转移:

- ① 初始状态: PB 未被按下, 为 0 状态; 触点 l 未动作, 为 0 状态(处于①的稳定状态)。
- ② 按下 PB: ($PB = 1$, 继电器线圈通电, 但为 $l = 0$ 的状态(处于 2 的不稳定状态)) \rightarrow (继电器线圈通电, l 变为 1(处于②的稳定状态))。
- ③ 放开 PB: ($PB = 0$, 线圈断电, 但为 $l = 1$ 的状态(处于 1 的不稳定状态)) \rightarrow (线圈断电, 成为 $l = 0$ (处于①的稳定状态))。

图 3.35 的卡诺图及时序图表示上述动作的转移过程。在卡诺图中, L 表示继电器线圈通电的意思, 若求 L 的逻辑式, 则为 $L = PB$ 。构成图 3.35 的电路图。

3.6.3 设计 2(自锁电路:关灯优先)

条件: 若按下点灯按钮 PB, 则灯泡点灯。

即使放开点灯按钮 PB, 灯泡仍然点灯。

若按下关灯按钮 S, 则灯泡熄灭。

若同时按下 PB 及 S, 则灯泡熄灭。

动作的转移:

- ① 初始状态: $PB = 0$, $l = 0$ (处于①的稳定状态)。
- ② 按下 PB: (线圈通电, 但为 $l = 0$ 的状态(处于 2 的不稳定状态)) \rightarrow (线圈通电, 成为 $l = 1$ 的状态(处于②的稳定状态))。
- ③ 放开 PB: 线圈仍保持通电状态不变, $l = 1$ 的状态(处于③的稳定状态)。
- ④ 按下 S: (线圈断电, 但为 $l = 1$ 的状态(处于 4 的不稳定状态)) \rightarrow (线圈断电, 成为 $l = 0$ 的状态(处于④的稳定状态))。

⑤ 按下 PB 及 S: 线圈不通电, $l=0$ 的状态。

图 3.36 表示上述动作的转移过程。

根据卡诺图求出 L 的逻辑式为 $L = \bar{S} \cdot (PB + l)$ 。图 3.36(c) 为表示该逻辑式的电路图。该电路图由于即使放开点灯按钮仍保持点灯状态, 故叫做自锁电路。当同时按下 PB 及 S 时, S 为优先, 故为关灯优先电路。

3.6.4 设计 3(自锁电路: 点灯优先)

条件: 在设计 2 的电路中, 若同时按下 PB 及 S, 则灯泡点灯。

图 3.37 所示为该设计的卡诺图中的动作转移、时序图及电路图。

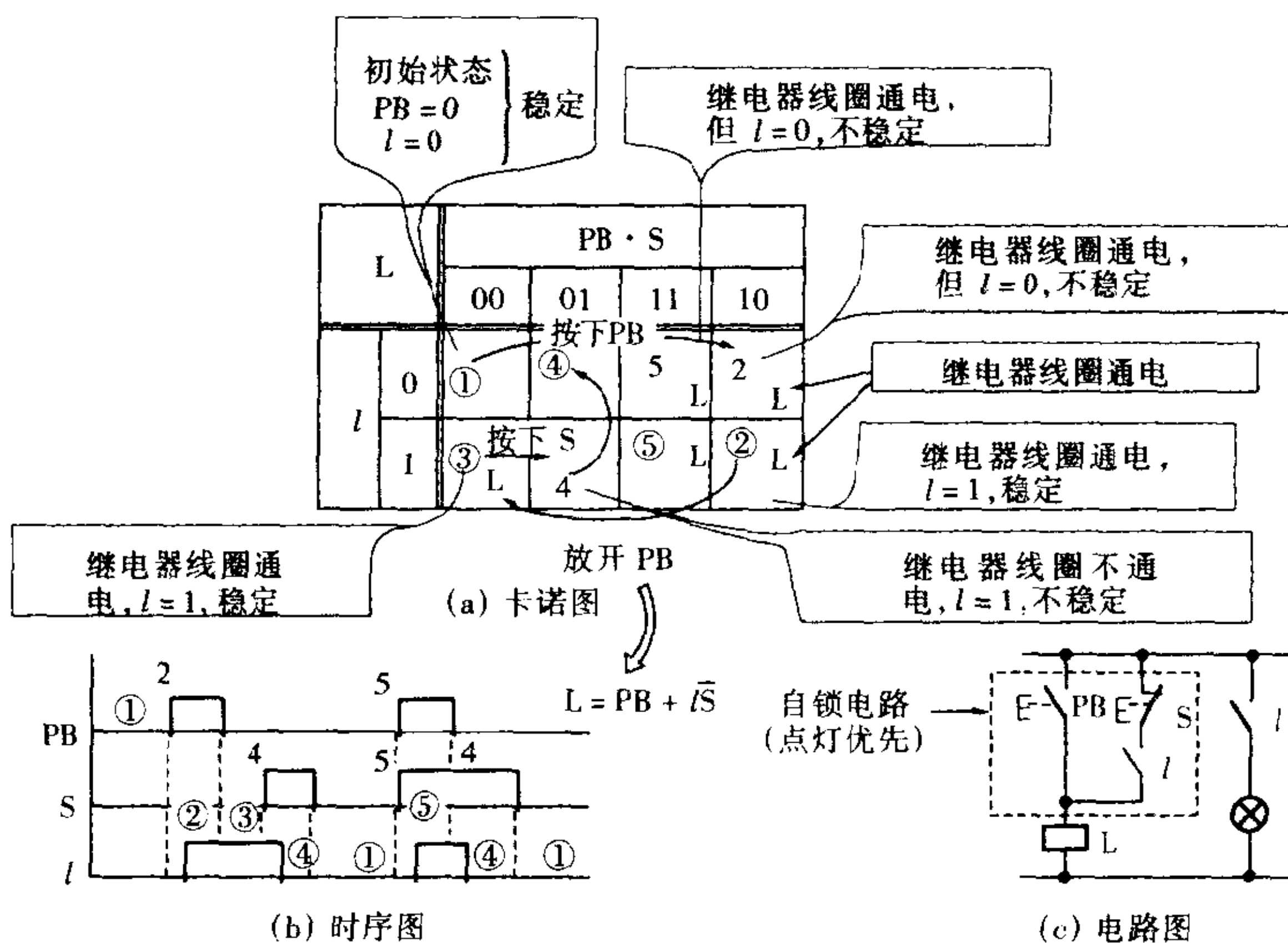


图 3.37 顺序控制电路的设计 3

3.6.5 设计 4(互锁电路)

条件: 用 PB_1 及 PB_2 使两个灯泡 L_1 及 L_2 点灯。

一个灯泡点灯时, 使另一个灯泡熄灭。

自锁电路的关灯优先。

考虑按照上述条件的动作转移, 得到图 3.38(a) 的卡诺图。在

卡诺图中有“—”的地方是不能产生动作的状态,在求逻辑式时,可以使用于 L_1 或 L_2 的任一方。

根据图(a)的卡诺图求逻辑式,则如下所示

$$L_1 = (PB_1 + l_1) \cdot \bar{l}_2, \quad L_2 = (PB_2 + l_2) \cdot \bar{l}_1$$

图(b)为根据该逻辑式画成的电路图。在两个自锁电路中分别串联有对方线圈的触点 l_2 , 任何一方动作时, 另一方则不能动作, 将这叫做互锁电路。

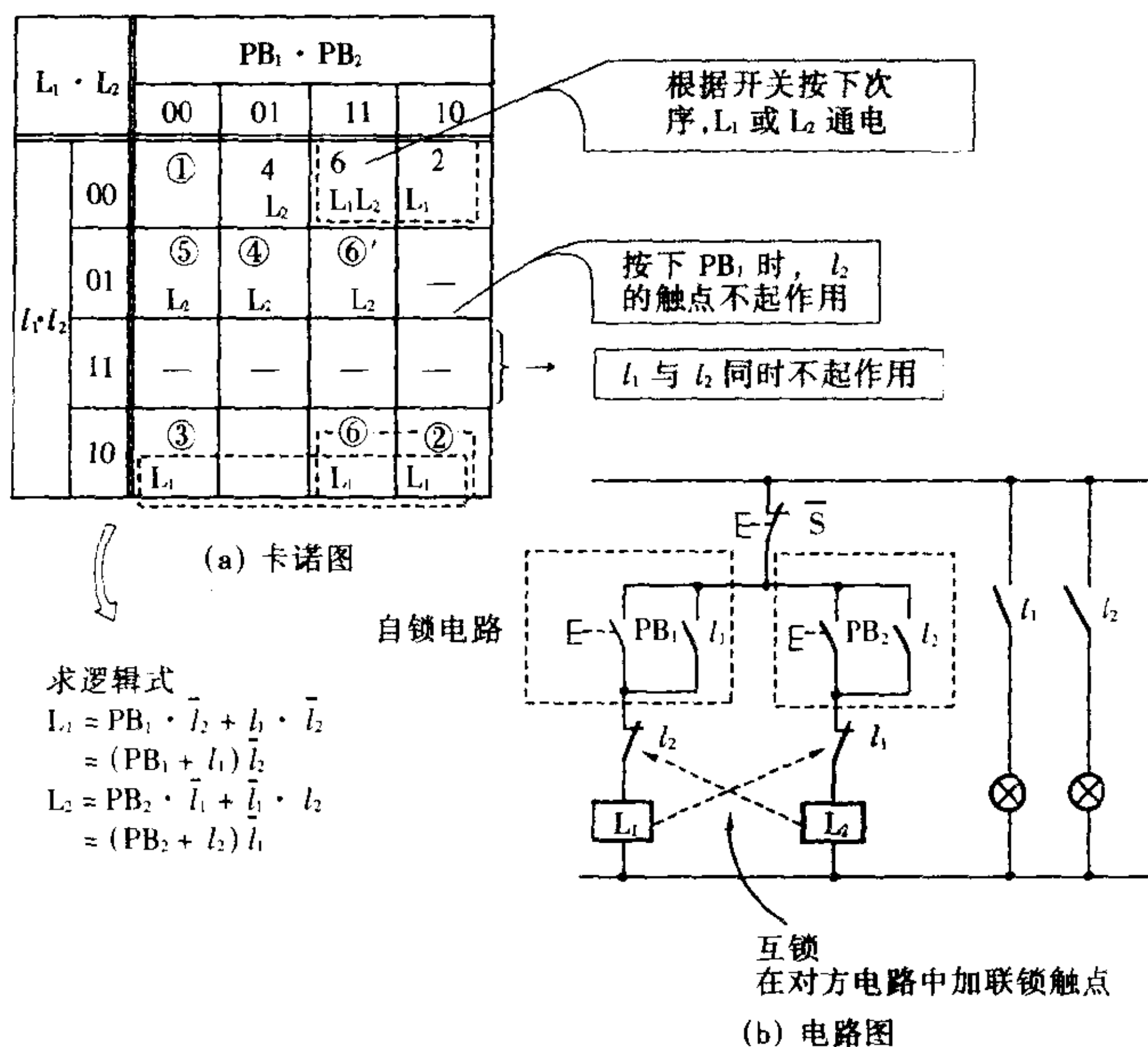


图 3.38 顺序控制电路的设计 4

3.7

无触点顺序控制

逻辑元件	JIS 符号	MIL 符号*	逻辑式
AND			$X = A \cdot B$
OR			$X = A + B$
NOT			$X = \overline{A}$
NAND			$X = \overline{A \cdot B}$ $= \overline{A} + \overline{B}$
NOR			$X = \overline{A + B}$ $= \overline{A} \cdot \overline{B}$
EX-OR			$X = A \cdot \overline{B} + \overline{A} \cdot B$

*Military standard specification 美军标准

图 3.39 半导体逻辑元件的图形符号

3.7.1 无触点顺序控制

无触点顺序控制，是指控制系统用半导体逻辑元件构成的控制。图 3.39 所示为半导体逻辑元件的图形符号。

与继电器顺序控制电路相比，无触点顺序控制电路的特征如下所述

- ① 由于没有机械触点，因此寿命长。
- ② 响应速度快。
- ③ 逻辑电路能够实现小型化。

输入半导体逻辑元件的信号必须是电压的高低。另外，由于不能输出大的功率，因此不能直接驱动负载。所以必须要有将输入转换为电压高低的输入电路及接受逻辑电路的输出并驱动负载的输出电路(参见图 3.40)。

图 3.41 所示为采用按钮开关的输入电路的例子，图 3.42 所示为采用晶体管及继电器的输出电路的例子。

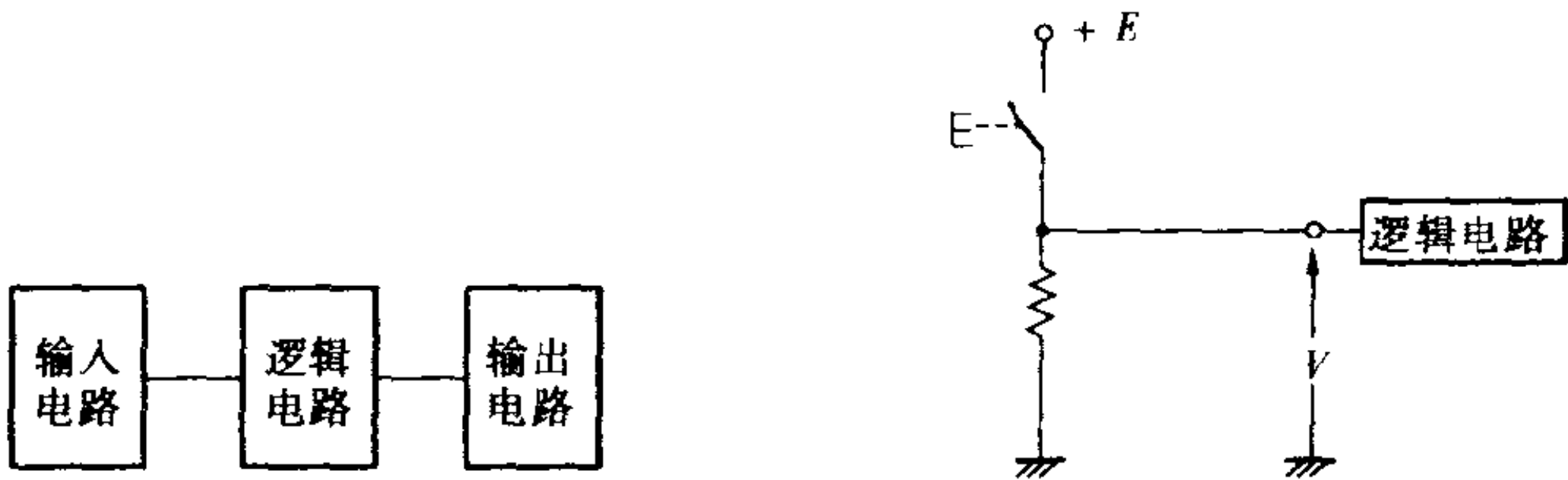
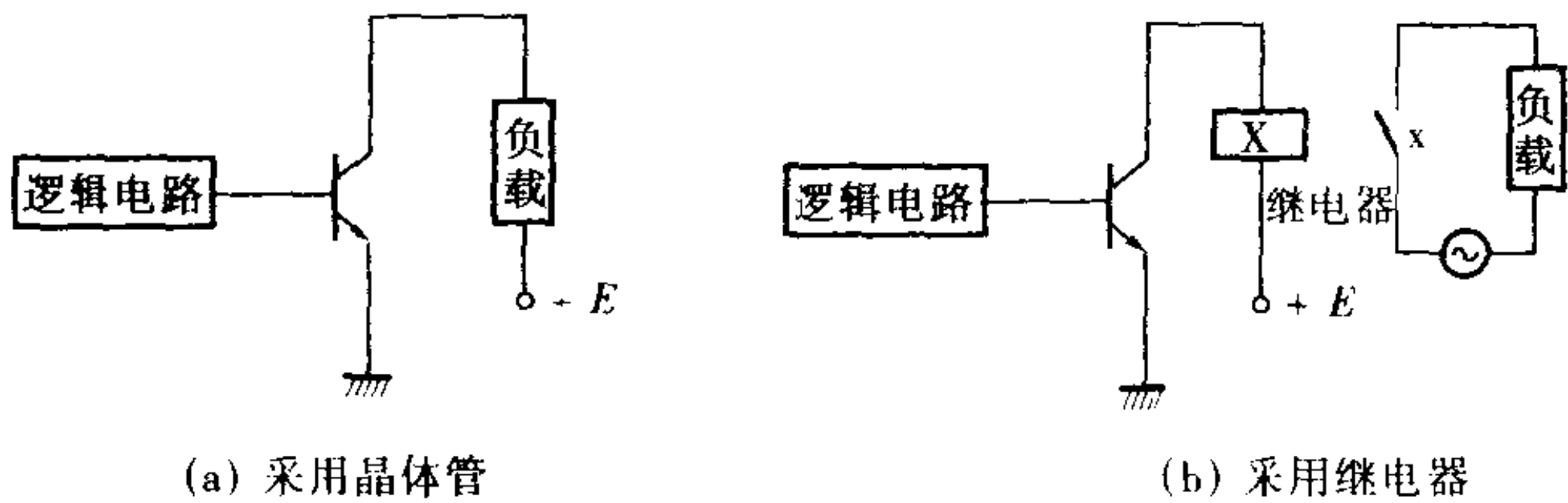


图 3.40 无触点顺序控制电路

图 3.41 输入电路



(a) 采用晶体管

(b) 采用继电器

图 3.42 输出电路

3.7.2 自锁电路(关灯优先)

根据 3.6.3 小节的内容，自锁电路(关灯优先)的逻辑式如下式所示

$$L = (PB + l) \cdot \bar{S} \tag{3.1}$$

图 3.43(b)所示为用半导体逻辑元件表示式(3.1)的电路。图(c)的动作表表示逻辑电路的输入输出的关系。

3.7.3 自锁电路(点灯优先)

根据 3.6.4 小节的内容，自锁电路(点灯优先)的逻辑式如下式所示

$$L = PB + l \cdot \bar{S} \tag{3.2}$$

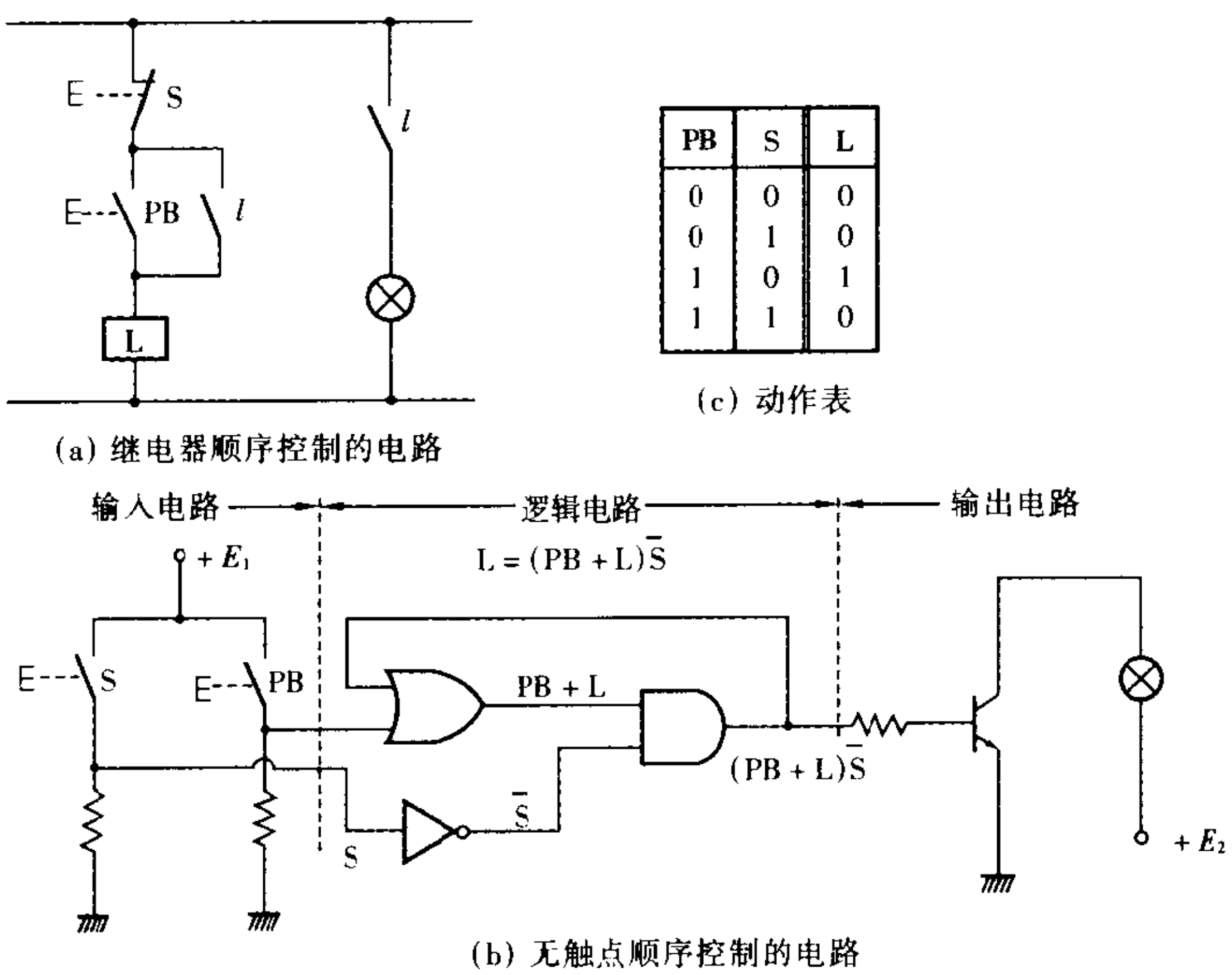


图 3.43 自锁电路(关灯优先)

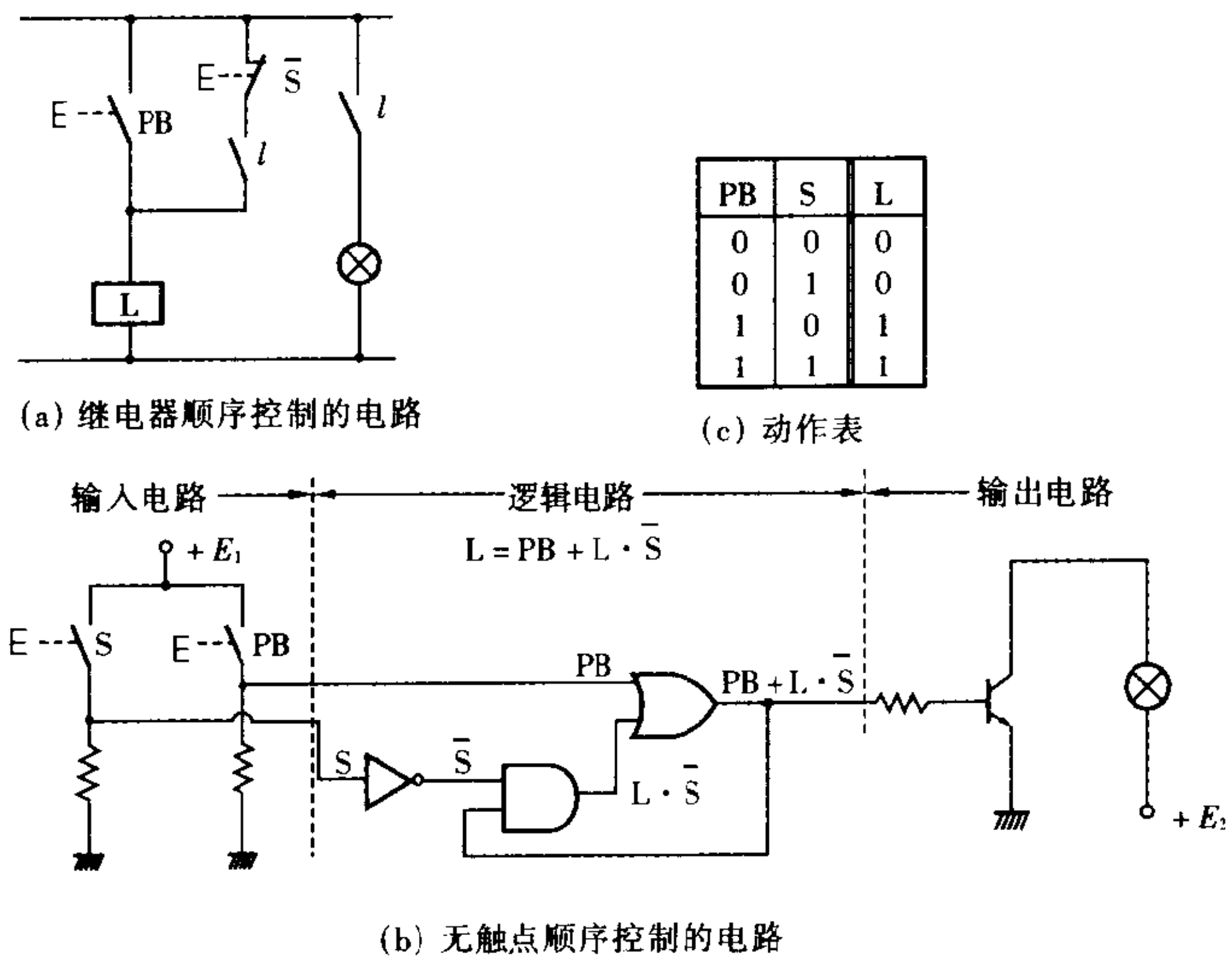


图 3.44 自锁电路(点灯优先)

图 3.44(b)所示为用半导体逻辑元件表示式(3.2)的电路。图(c)的动作表表示逻辑电路的输入输出的关系。

3.7.4 互锁电路

根据 3.6.5 小节的内容,互锁电路的逻辑式如下式所示

$$L_1 = (PB_1 + l_1) \bar{l}_2 \cdot \bar{S}, \quad L_2 = (PB_2 + l_2) \bar{l}_1 \cdot \bar{S} \quad (3.3)$$

图 3.45 所示为用半导体逻辑元件表示式(3.3)的电路。

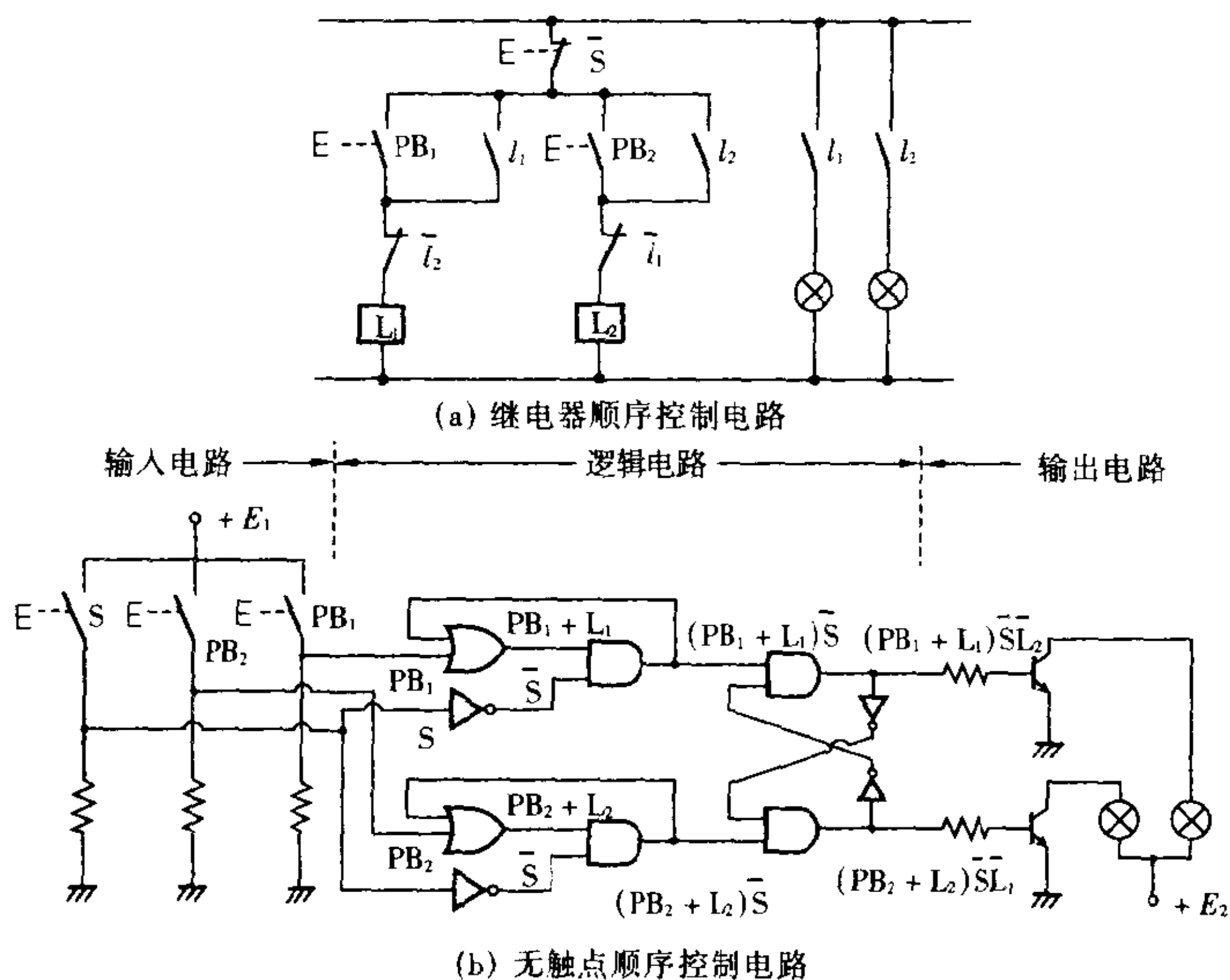


图 3.45 互锁电路

3.8 顺序控制举例

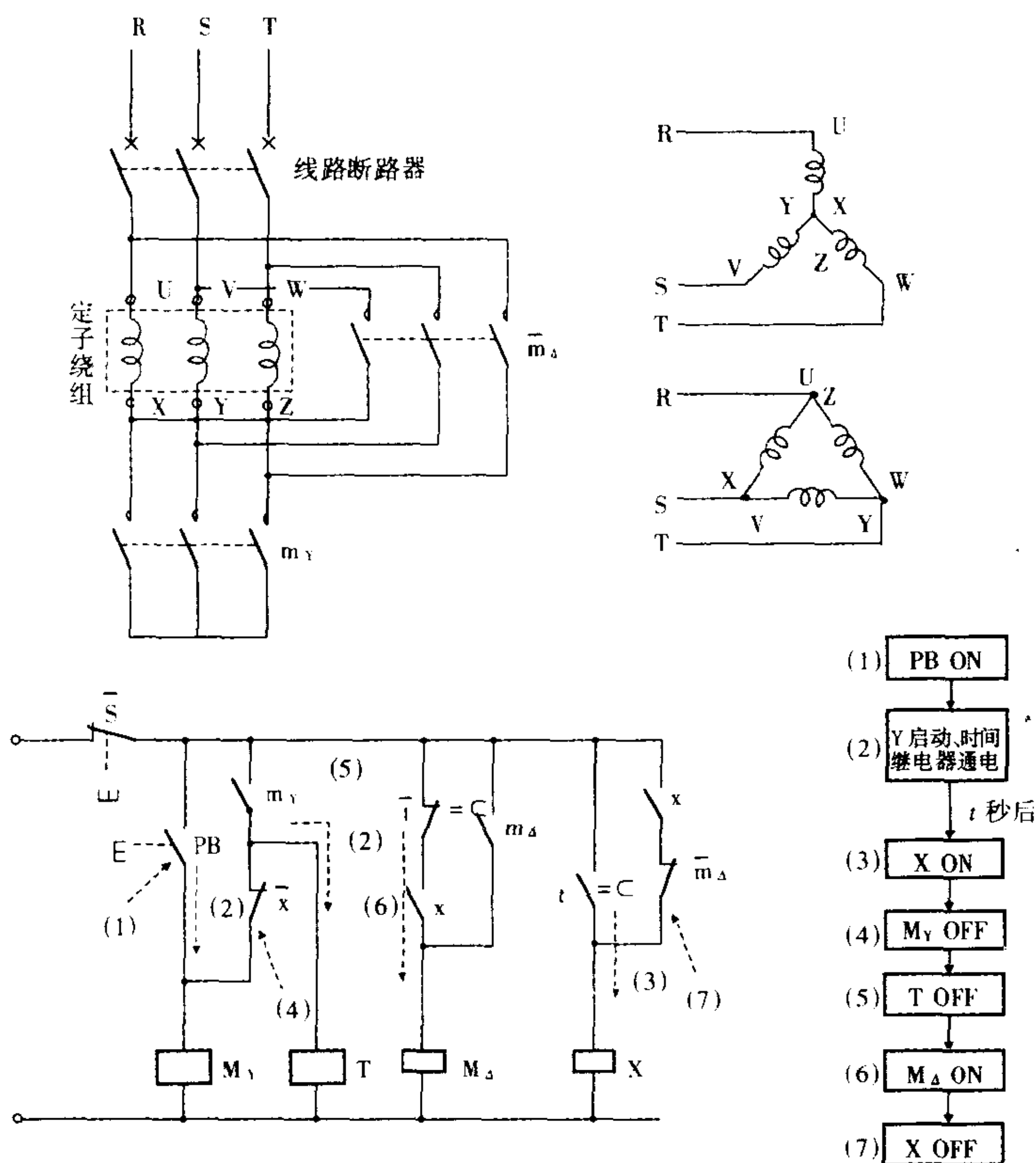


图 3.46 感应电动机的 Y-Δ 启动

3.8.1 感应电动机的 Y-Δ 启动

图 3.46 为笼形感应电动机的 Y-Δ 启动控制。

若按下启动按钮 PB, 则电磁接触器 M_Y 动作, 电动机为 Y 启动。 M_Y 自锁, 时间继电器 T 也通电。 t 秒钟后, 时间继电器触点 t 动作, 继电器 X 通电, 利用 X 的触点使 M_Y 及 T 断电。 X 为自锁, 利用 T 断电而复位的触点使 M_Δ 动作, 则切换至 Δ 启动。

3.8.2 电动机的正反转控制

图 3.47 为电动机的正反转控制。为了使电动机反转,只要将三相接线的两根线对调而使旋转磁场反向即可,即只要切换电磁接触器 M_F 及 M_R 即可。

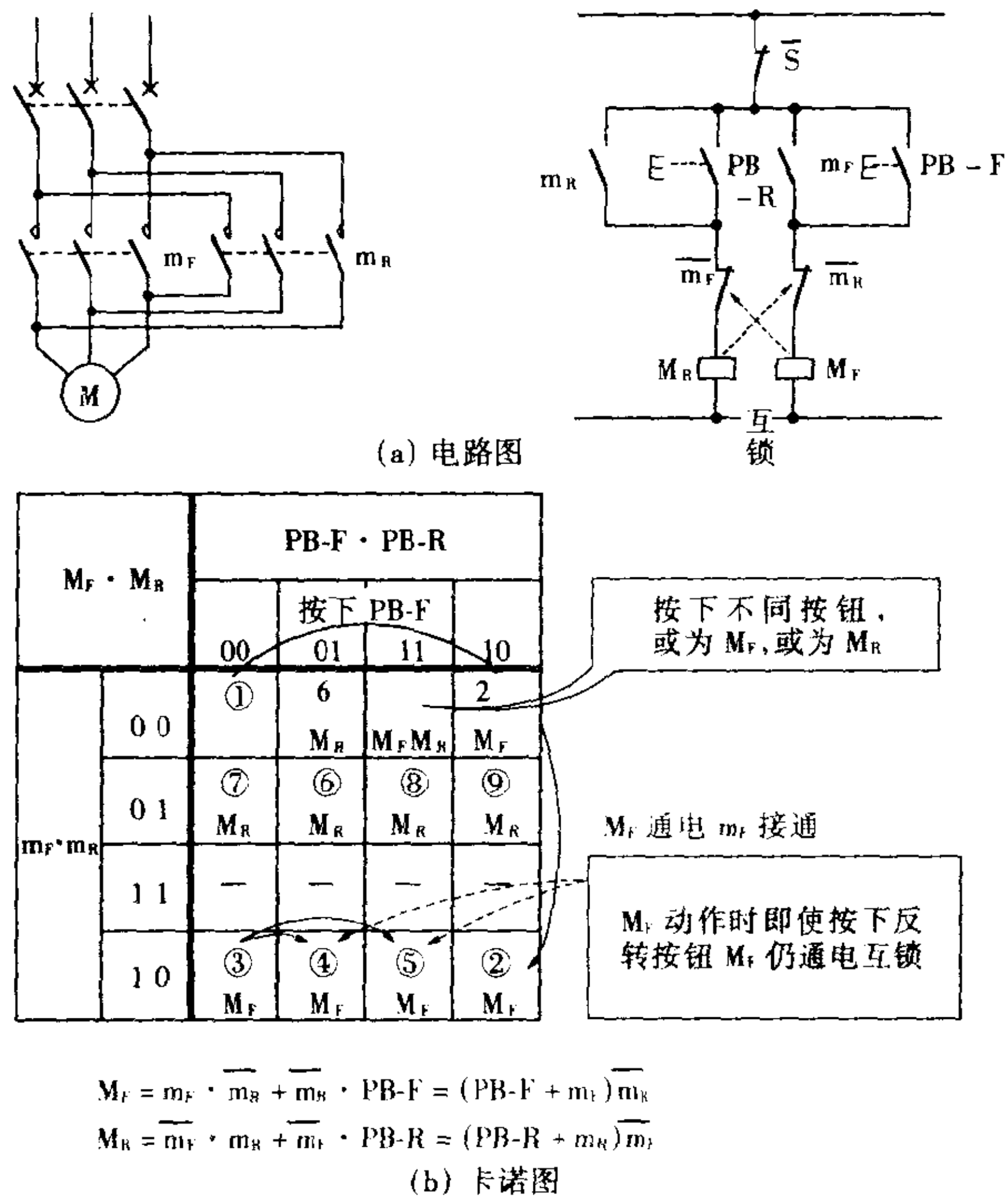


图 3.47 电动机的正反转控制

利用 PB-F 使 M_F 动作, 形成自锁 (停止优先), 则电动机正转。另外, M_R 被互锁。利用停止按钮 S 使电动机停止, 再利用 PB-R 可使电动机反转。

图 (b) 的卡诺图表示上述动作, 求出其逻辑式, 可得图 (a) 的电路图。

3.8.3 液面控制

图 3.48 为采用固定电极的继电器给水控制。利用水泵从地

下贮水池把水吸上来，当水满到电极 E_1 时，通过水就有电流流过，继电器 X_1 及 X_2 都通电。电路的 b 触点 x_1 及 x_2 断开，电动机不动作。

水逐渐减少，当比 E_1 低时，继电器 X_2 断开，触点 x_2 闭合。一旦进一步水比 E_2 还低，则 X_1 断电， x_1 闭合，电动机起动，利用水泵将水吸上。一旦水满到 E_1 电极处，电动机又停止。

图 (b) 的卡诺图表示上述动作，求出其逻辑式，可得图 (a) 的电路图。

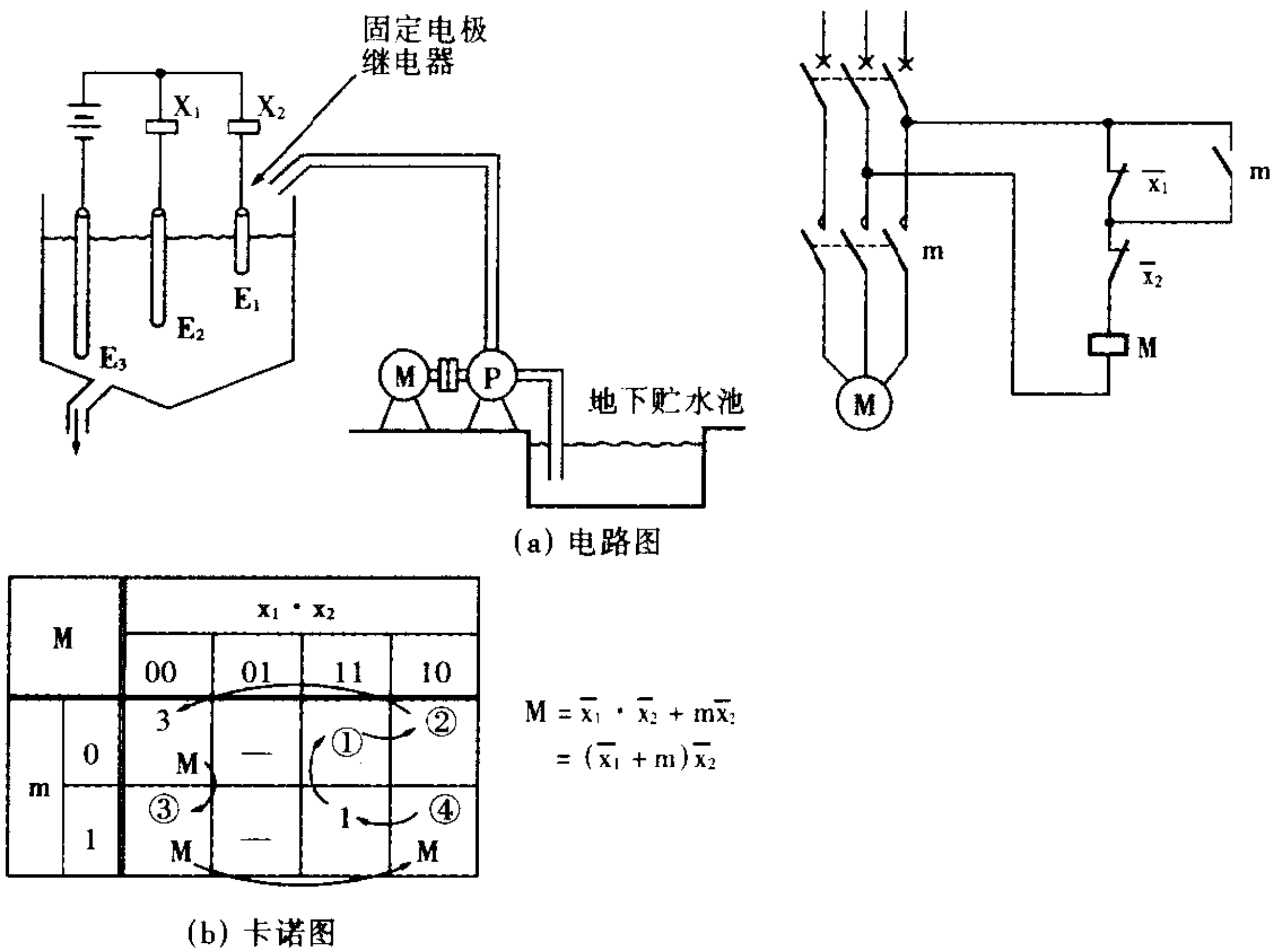


图 3.48 液面控制

3.9

计算机控制用零部件及装置

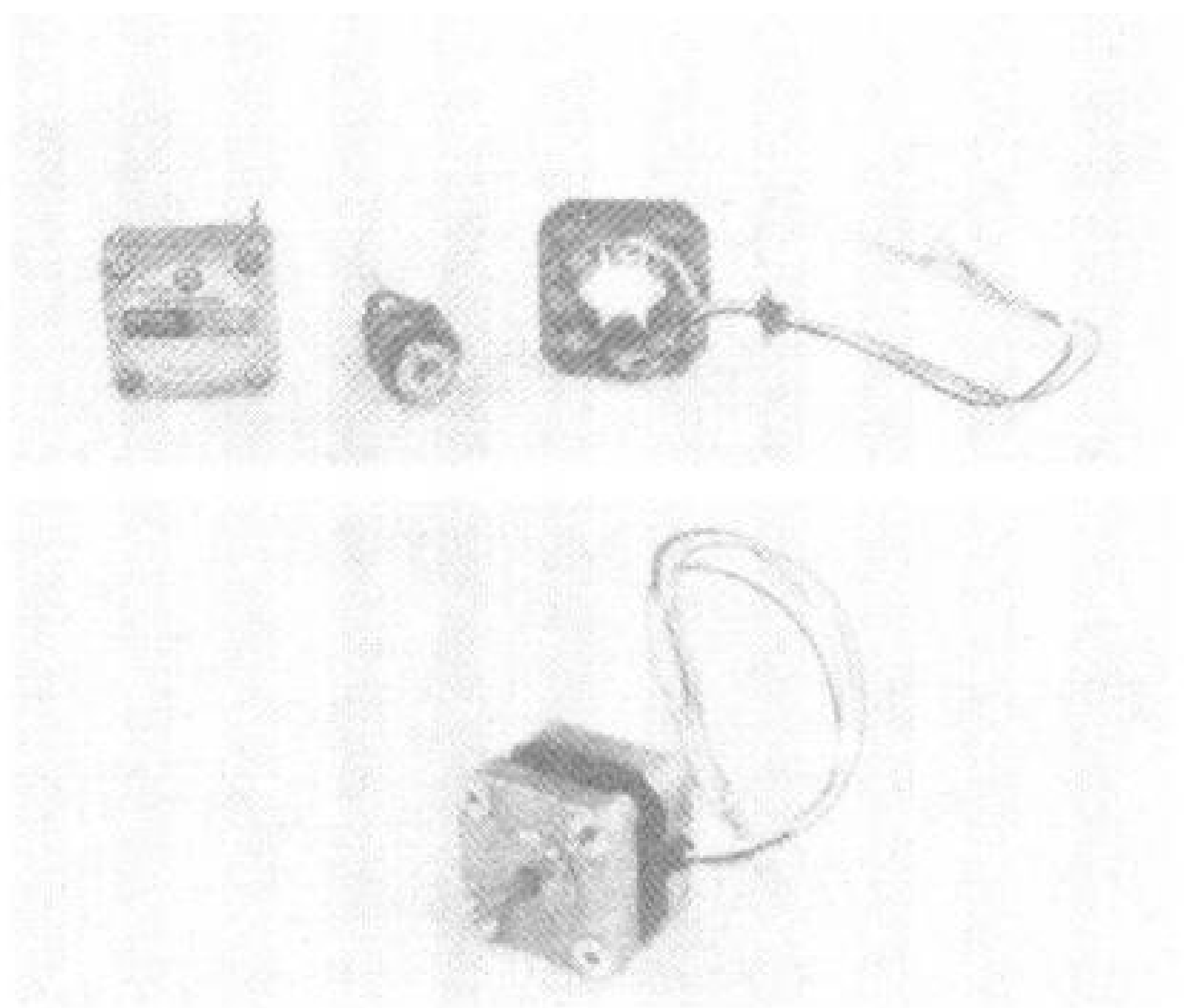


图 3.49 步进电动机的外形图

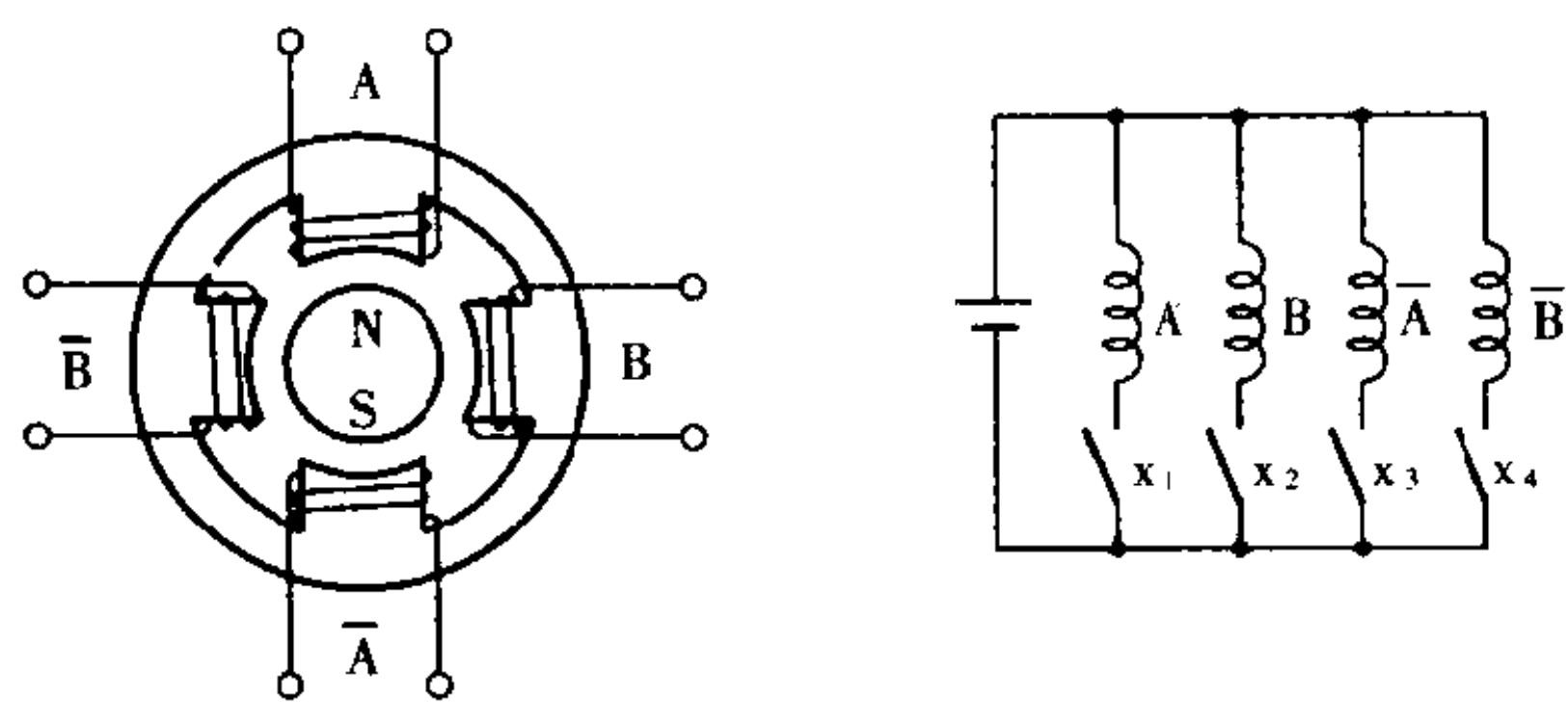


图 3.50 步进电动机的原理

3.9.1 步进电动机

步进电动机可用作办公自动化(OA)装置的打印机、软盘驱动器及机器人的控制用电动机。

图 3.49 所示为四相步进电动机的外形图，图 3.50 所示为其原理图。转子为两极的永久磁铁，定子有四相励磁绕组。若该励磁绕组按顺序励磁，则转子沿励磁的绕组的方向旋转（参见图

3.51)。

步进电动机通过控制各励磁绕组间的励磁脉冲，能够控制其转角及转速。

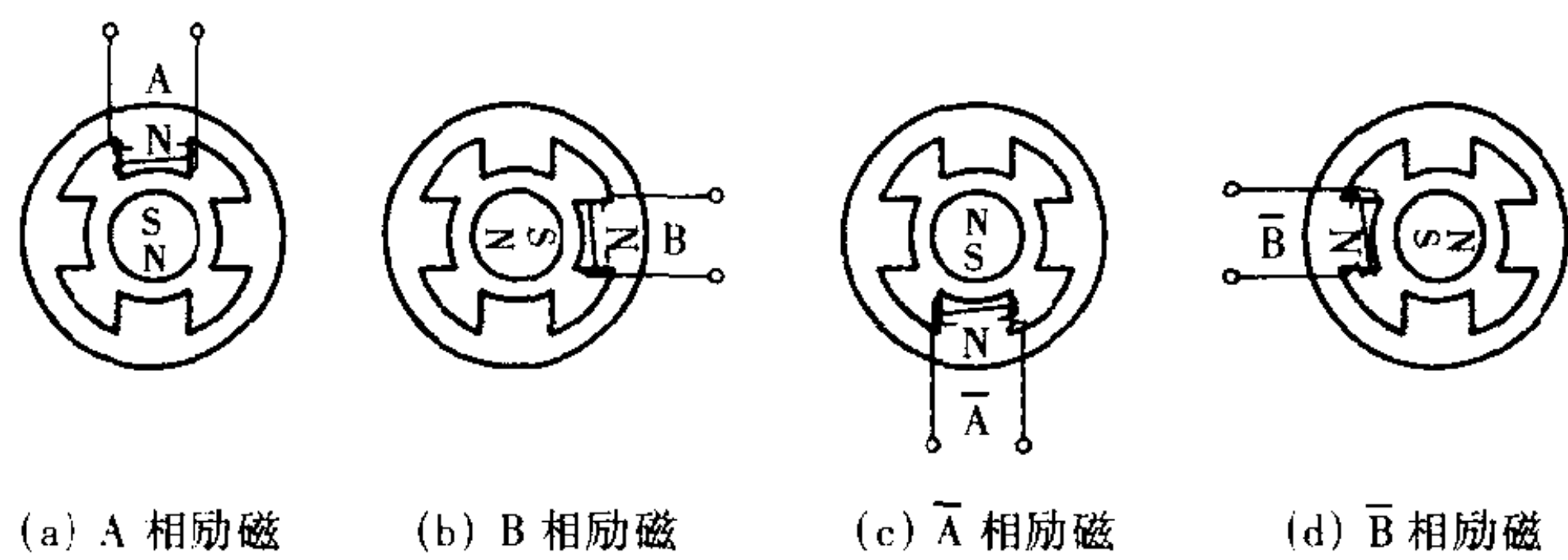


图 3.51 步进电动机的旋转

3.9.2 直流伺服电动机

直流电动机的原理是根据弗莱明左手定则利用电流与磁场相互作用的电磁力而旋转的(参见图 3.52)。

特别重视控制性能的直流电动机叫做直流伺服电动机，具有旋转编码器等检测器，可用作机器人控制电动机等（参见图 3.53）。

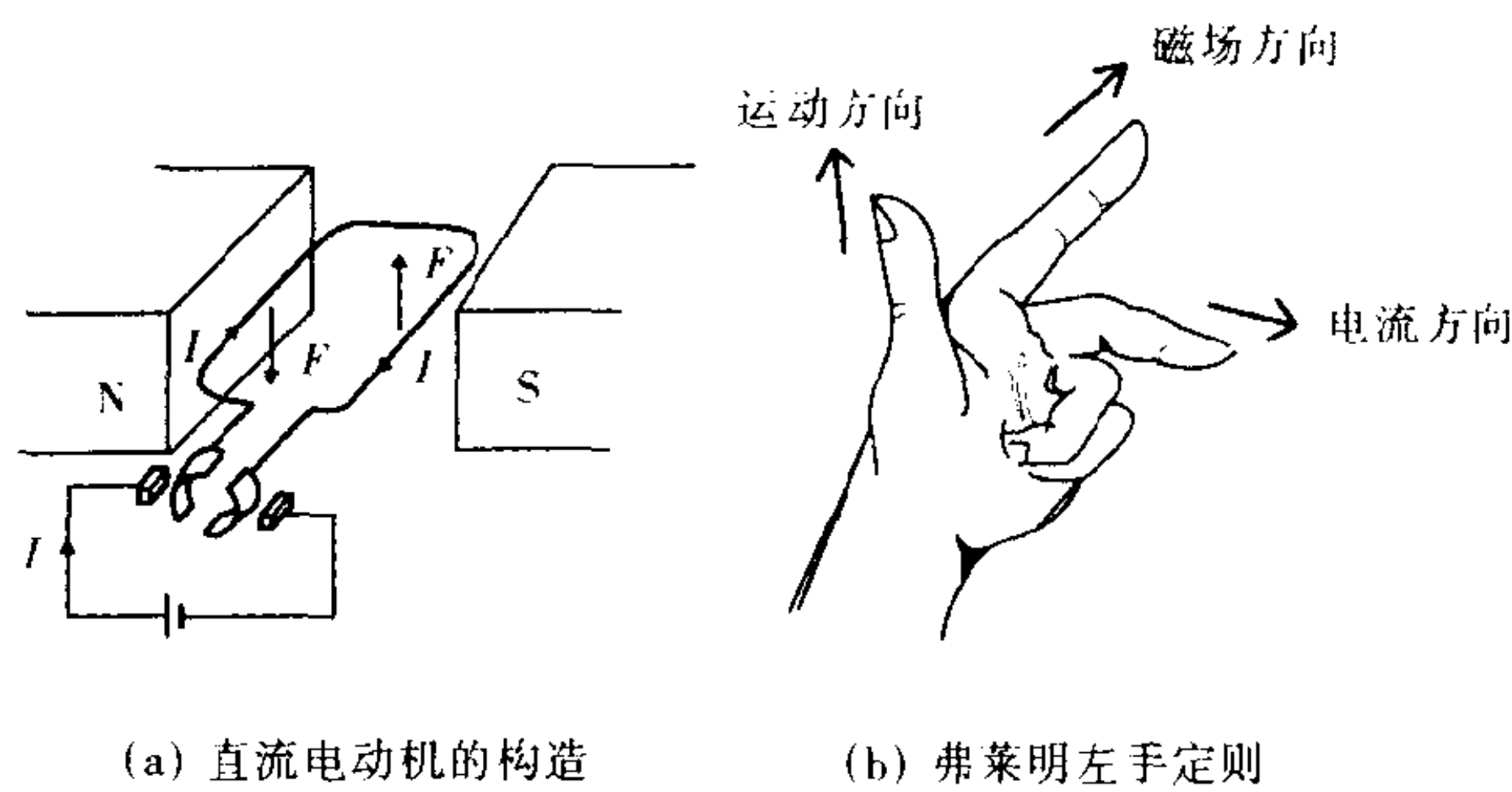


图 3.52 直流电动机的原理

图 3.54 为直流伺服电动机所具有的旋转编码器，是利用电动机旋转导致光线穿过而产生脉冲，利用对输出脉冲进行计数，就能够知道旋转角速度或转速。

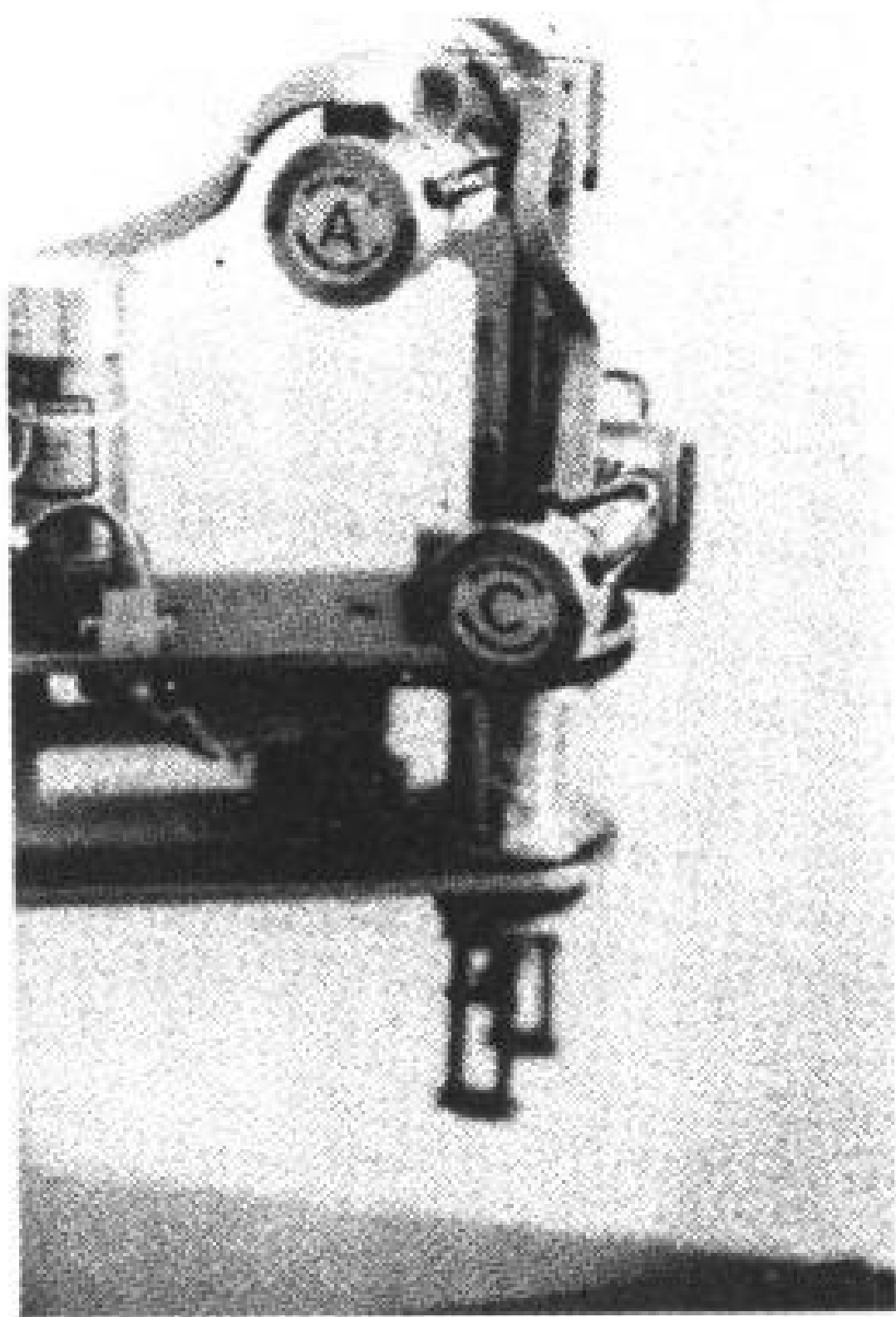


图 3.53 直流伺服电动机

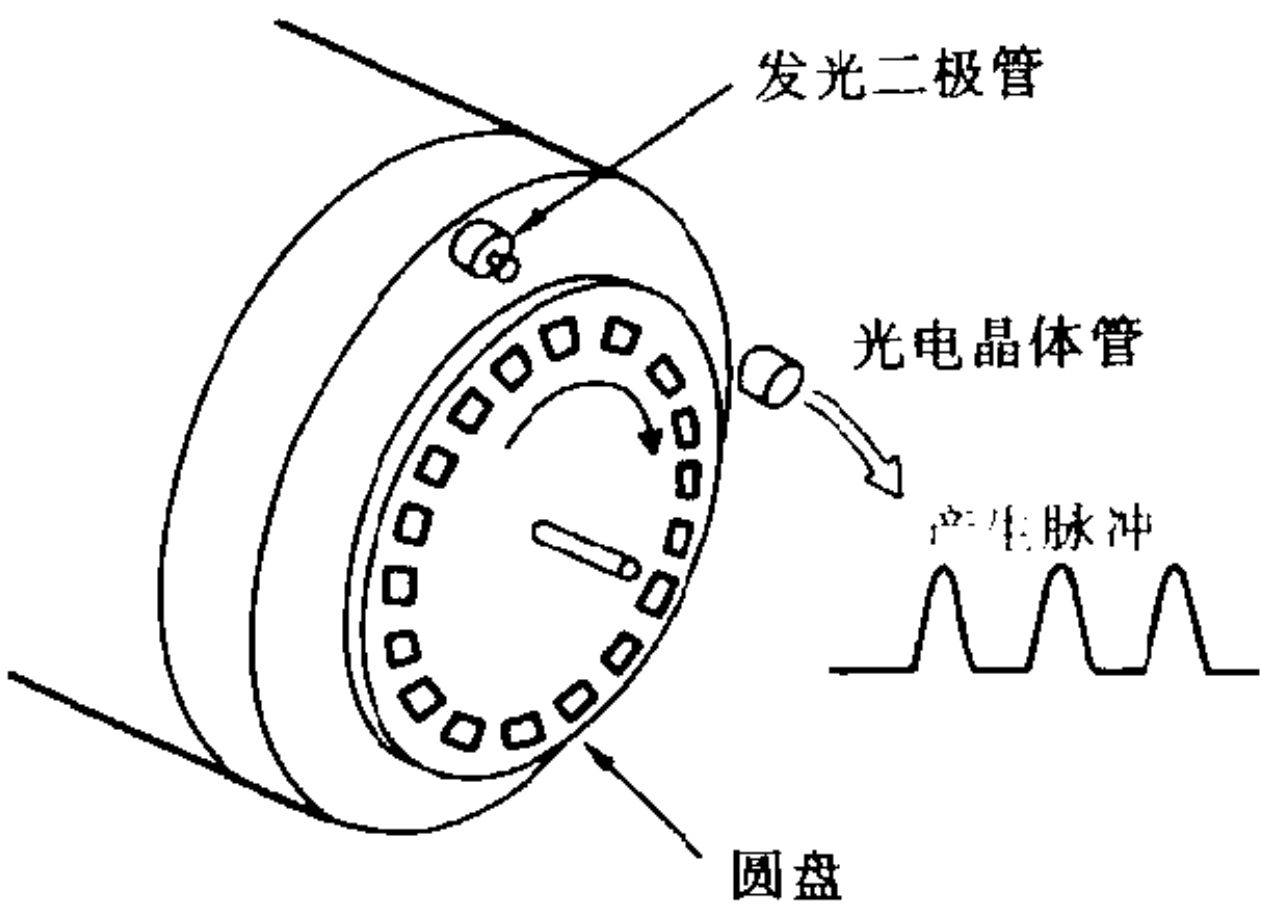


图 3.54 旋转编码器

3.9.3 图像识别装置

机器人控制用的视觉传感器有图像识别装置（参见图 3.55）。

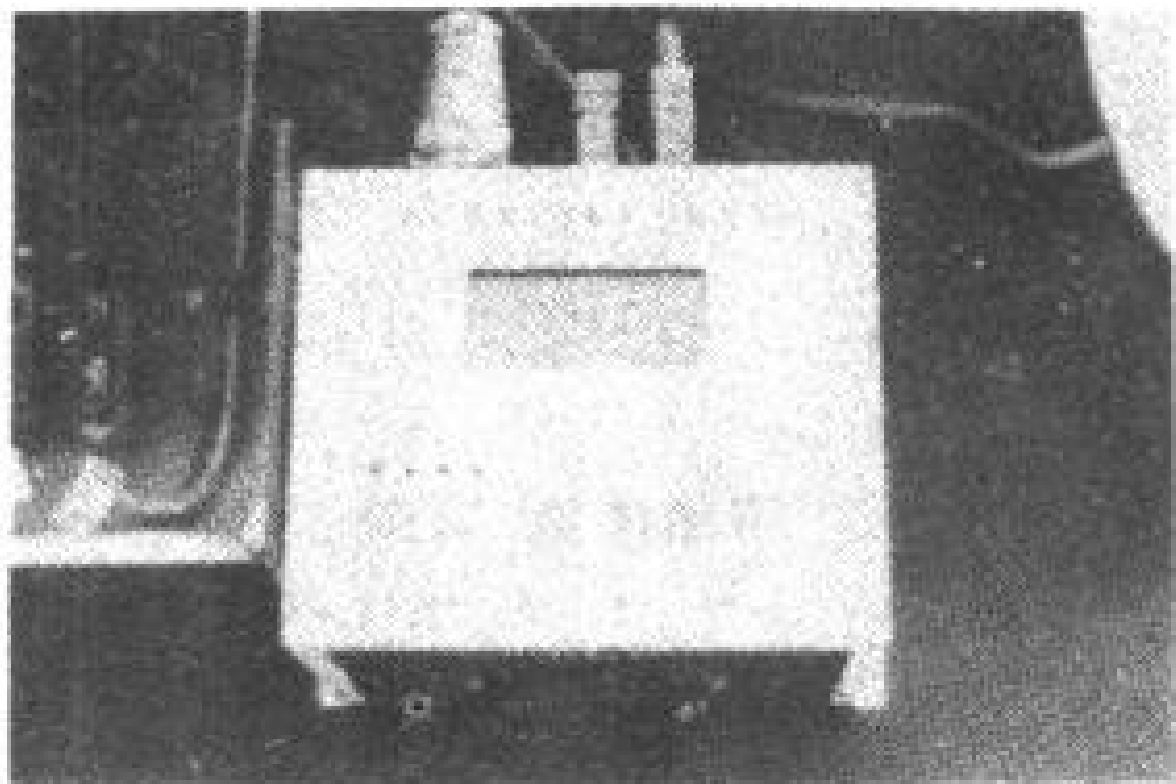
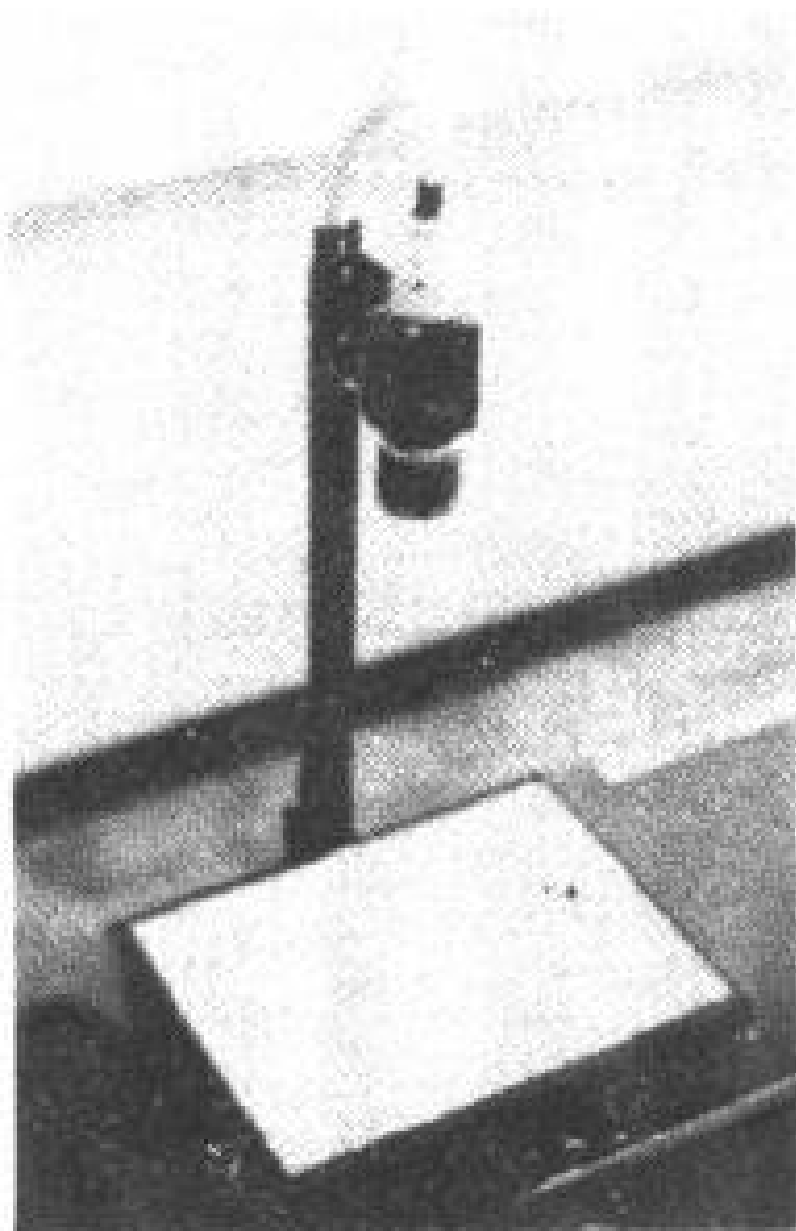


图 3.55 图像识别装置

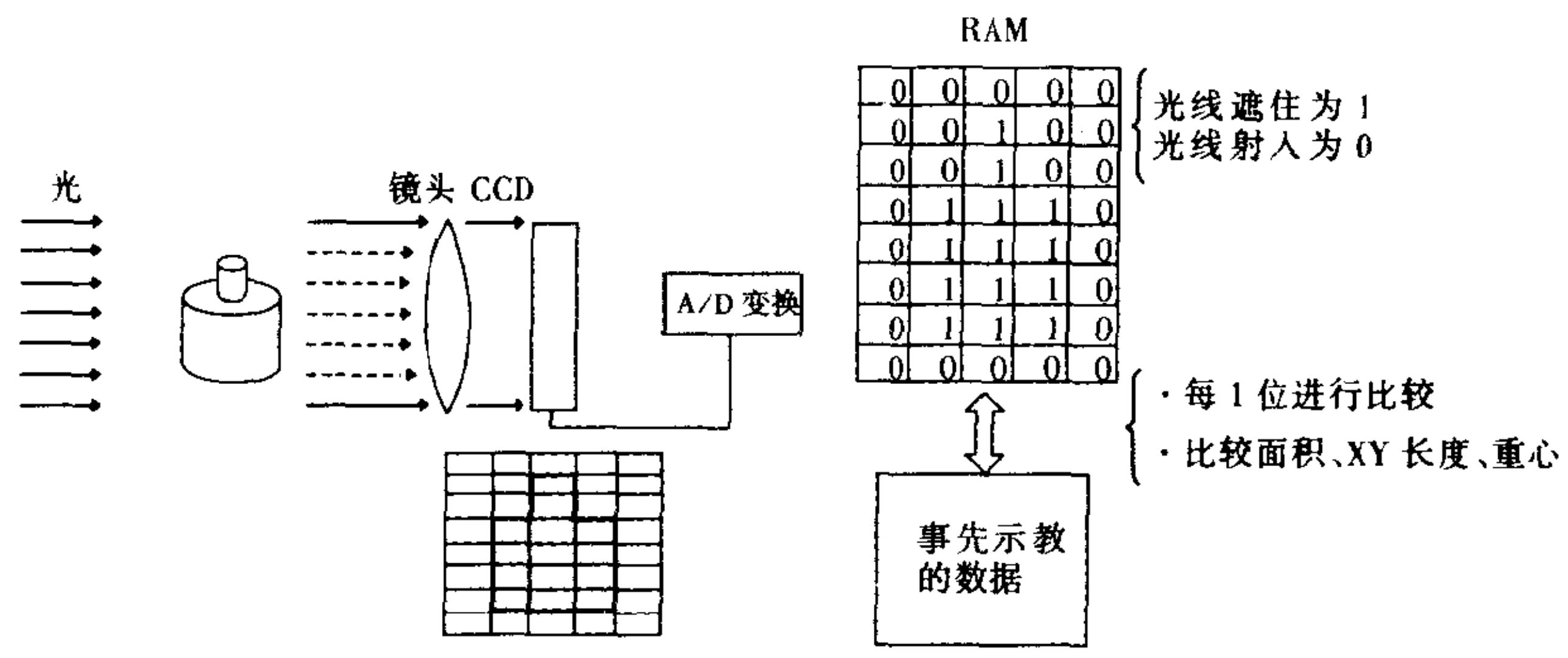


图 3.56 图像识别装置的原理

图 3.56 为其原理图。将光照射物体,通过镜头利用 CCD 元件将其照射的光变换为电量。通过 A/D 变换将一个像素作为 1 位 (bit) 存储在 RAM 中,将该 RAM 中存储的数据与事先示教的数据进行比较。识别的方法有两种,一种是对每 1 位进行比较的方法,另一种是利用位的合计而得出的面积、X-Y 方向的长度或重心等的大小进行推测的方法。

3.9.4 光电传感器

光电开关是利用红外发光二极管及光电晶体管组合而成的,有反射型及透射型两种(参见图 3.57(a))。

反射型是检测物体靠近时的光反射的光电传感器,而透射型

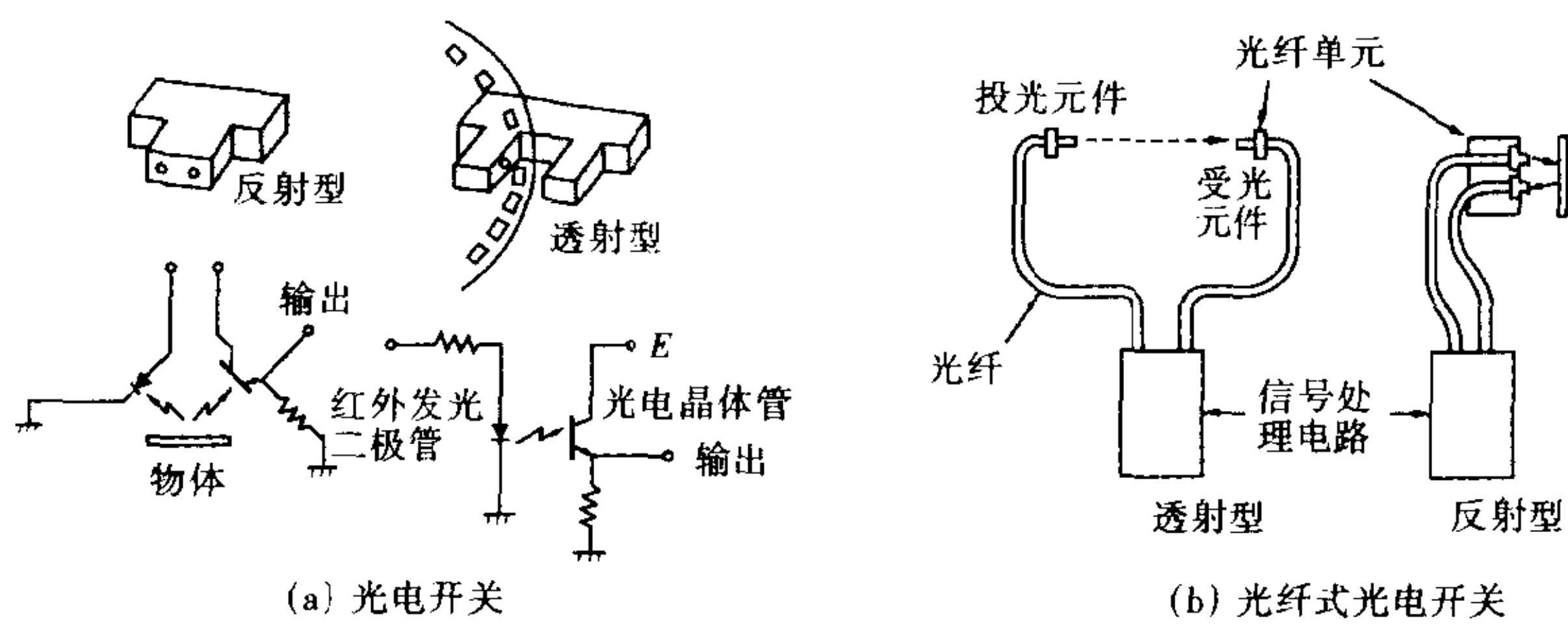


图 3.57 光电传感器

是利用旋转编码器等遮挡物挡住检测缝隙而产生脉冲以检测旋转状态的光电传感器。

光纤式光电开关用来检测在光纤间是否有对象物体存在,光源有红光(660nm)、绿光(560nm)及近红外光(890 ~ 940nm)。

这种传感器的优点是:检测部分能实现小型化;能耐温、耐湿及抗干扰;利用光纤可将光纤头伸到被检测的对象物体处(参见图 3.57(b))。

3.10 计算机控制(1)

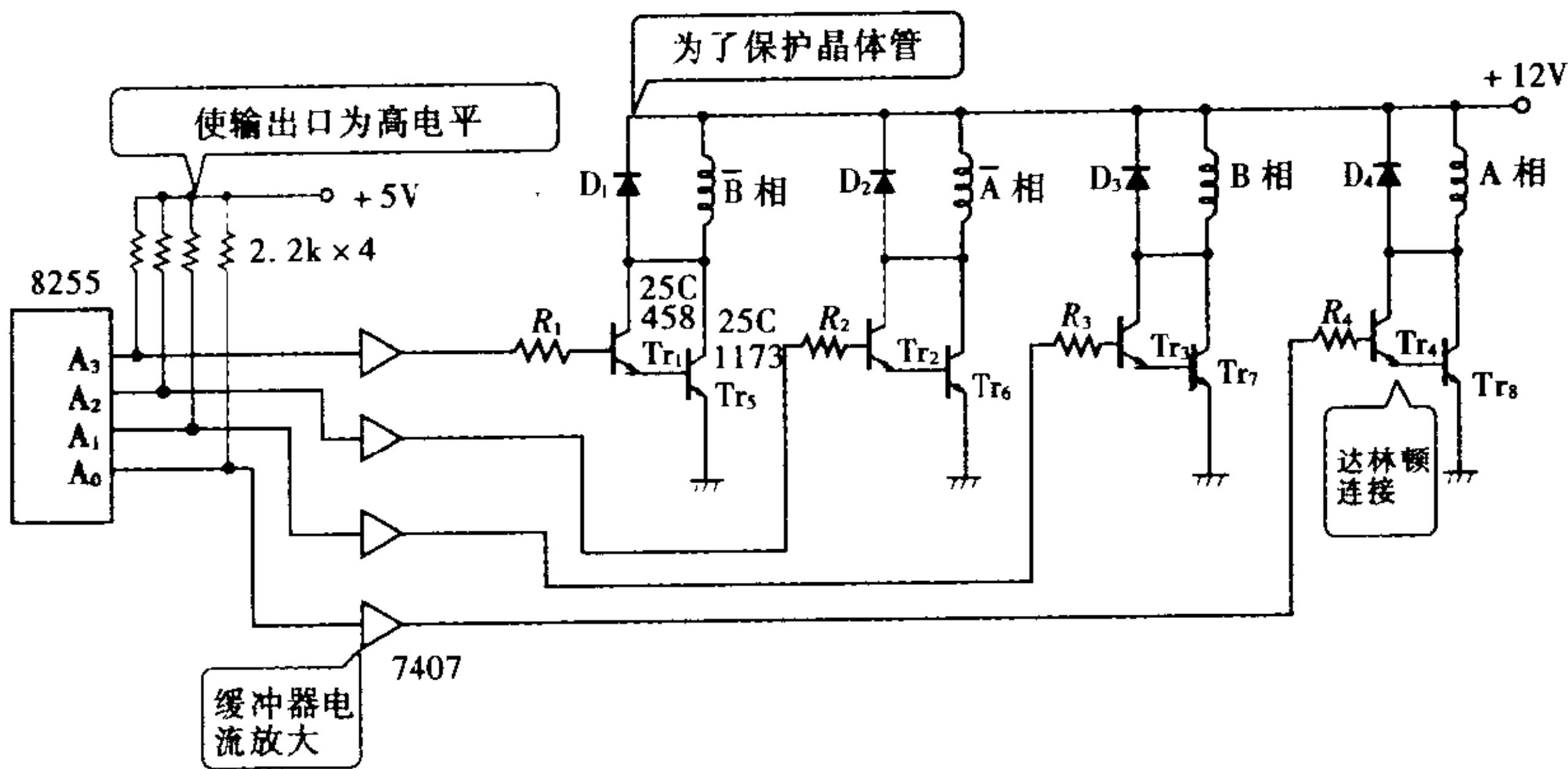


图 3.58 步进电动机驱动电路

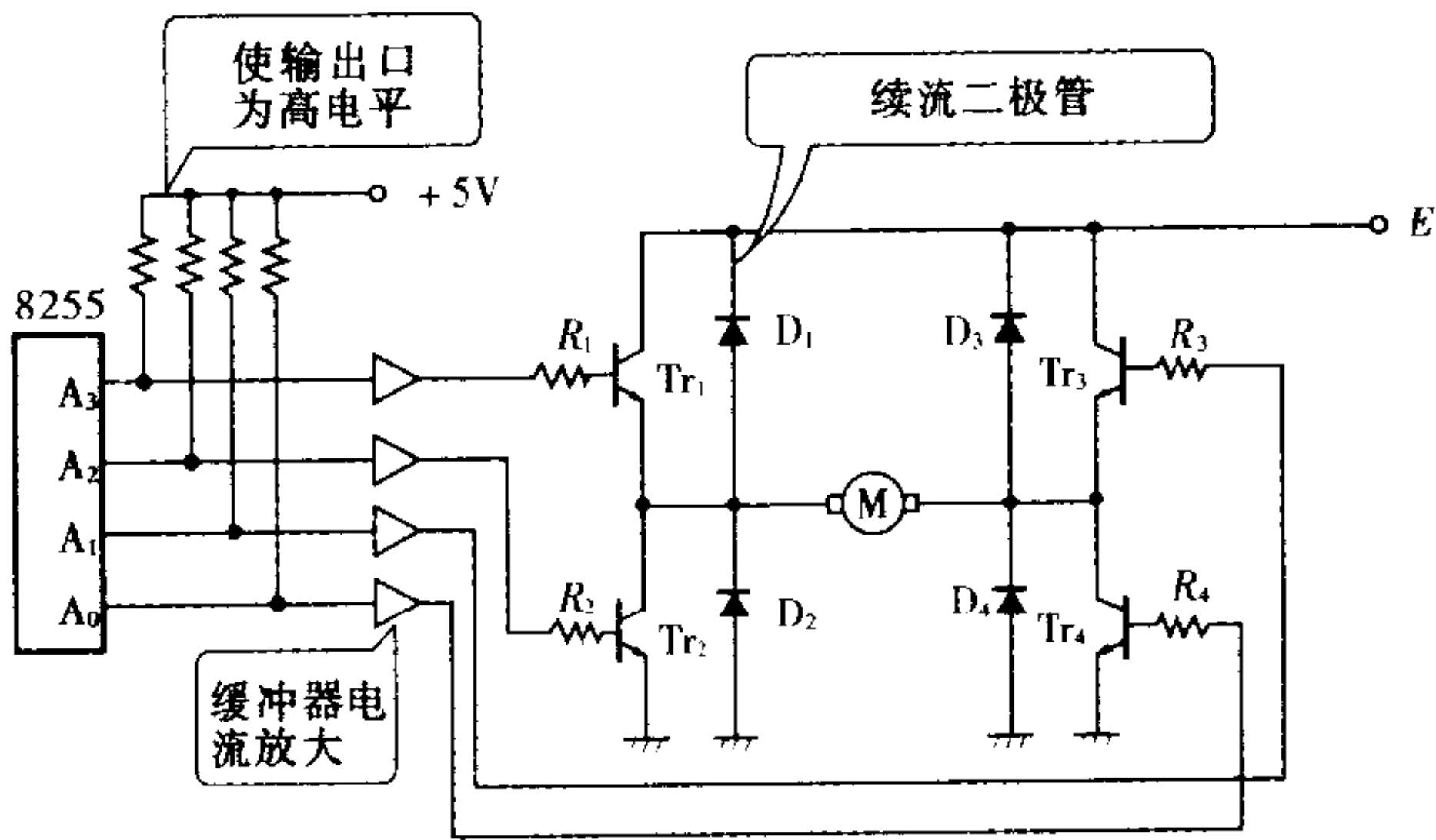


图 3.59 直流伺服电动机驱动电路

3.10.1 步进电动机的控制

为了使步进电动机旋转，只要依次使电动机的励磁绕组通电即可(参见 3.9.1 小节)。

图 3.58 为步进电动机驱动电路举例。电动机的励磁是利用晶体管的 ON-OFF 进行的，二极管 $D_1 \sim D_4$ 用来保护晶体管以免受

励磁绕组的反电动势的影响。

考虑采用微型计算机进行控制, 输入输出接口采用 IC 8255, 2.2kΩ 电阻用来使输出为高电平。从输出口输出的信号利用缓冲器 IC 7404 进行电流放大, 然后驱动各晶体管的基极。

IC 8255 有三个输入输出口, 将电路与其中的一个输出口的 低 4 位 (bit) 相连。低 4 位的输出若依次为高电平, 则步进电动机 旋转, 其励磁方法有单相励磁及两相励磁两种, 如图 3. 60 所示。

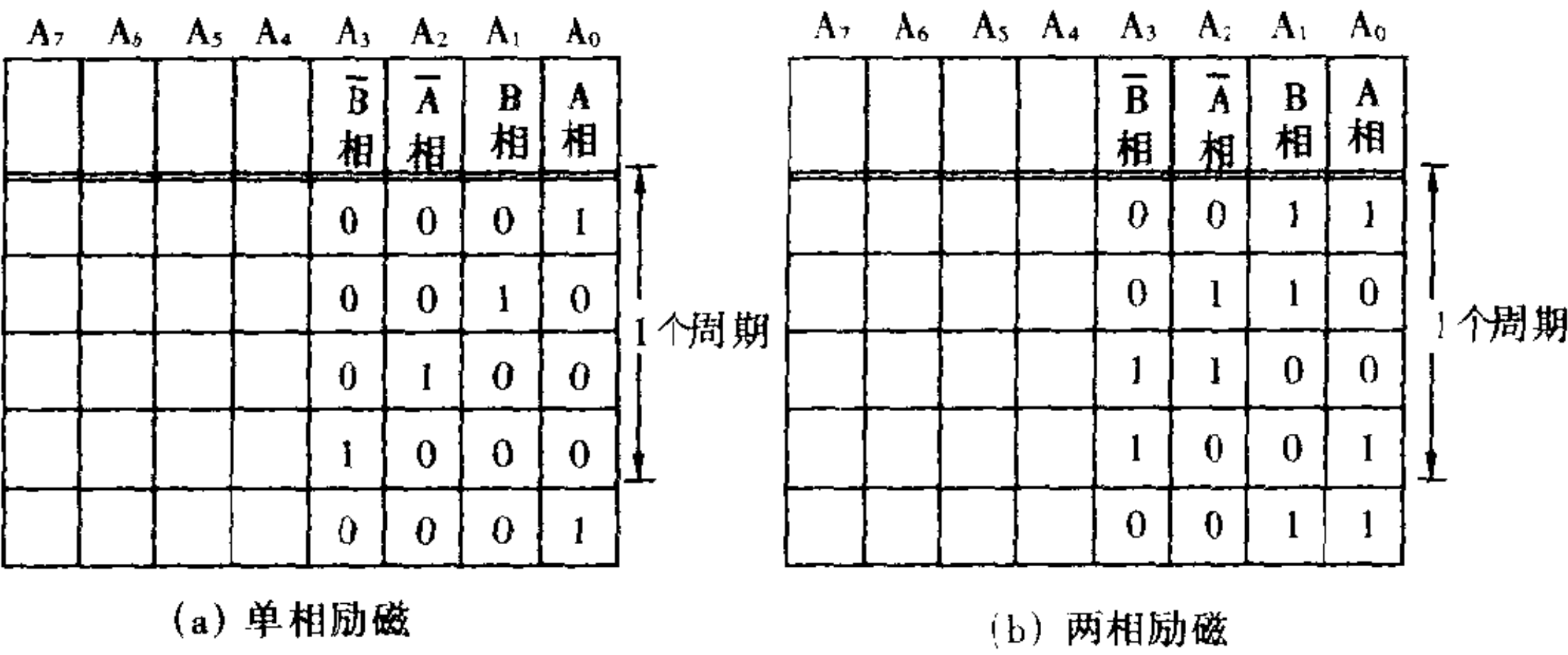


图 3. 60 步进电动机的励磁法

在控制用微型计算机采用 Z 80 CPU 时, 图 3. 61 所示为使步 进电动机左转的程序(汇编语言)。

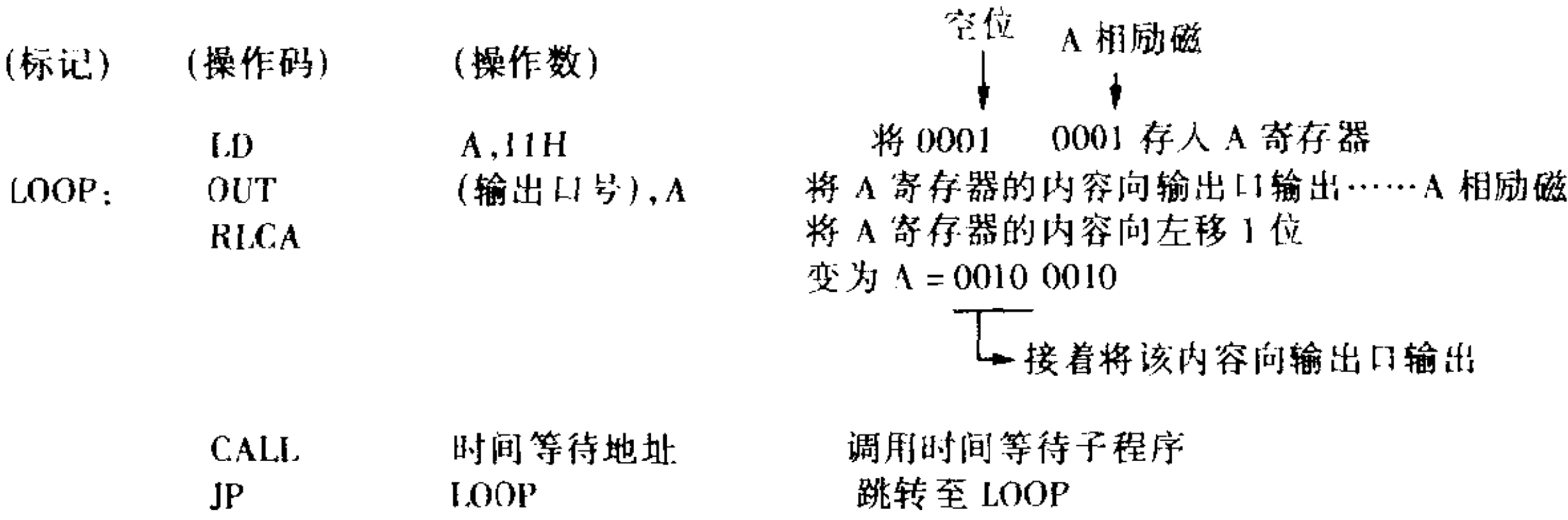


图 3. 61 步进电动机的旋转程序

为了使电动机右转, 只要将 RLCA 变为 RRCA 即可。在想改 变转速时, 只要改变时间等待子程序的设定时间即可。步进电动 机的速度用 pps(pulses per sec.)即每秒的励磁脉冲数表示。

若依次任意加上励磁脉冲, 可对步进电动机进行旋转控制。

但电动机若加上编码器, 通过对产生的脉冲进行计数, 就能够进行更细分的旋转控制。另外, 用光电开关或限位开关能够进行定位控制。

3.10.2 直流伺服电动机的控制

为了使直流电动机旋转, 只要将电动机与直流电源连接即可。另外, 为了使电动机反转, 只要将电源反向即可。

如图 3.62 所示, 在用四个开关的电路中, 利用开关的不同的闭合情况, 能够控制其正转或反转。图 3.59 所示的电路是用晶体管构成该开关元件利用 IC 8255 进行驱动的。

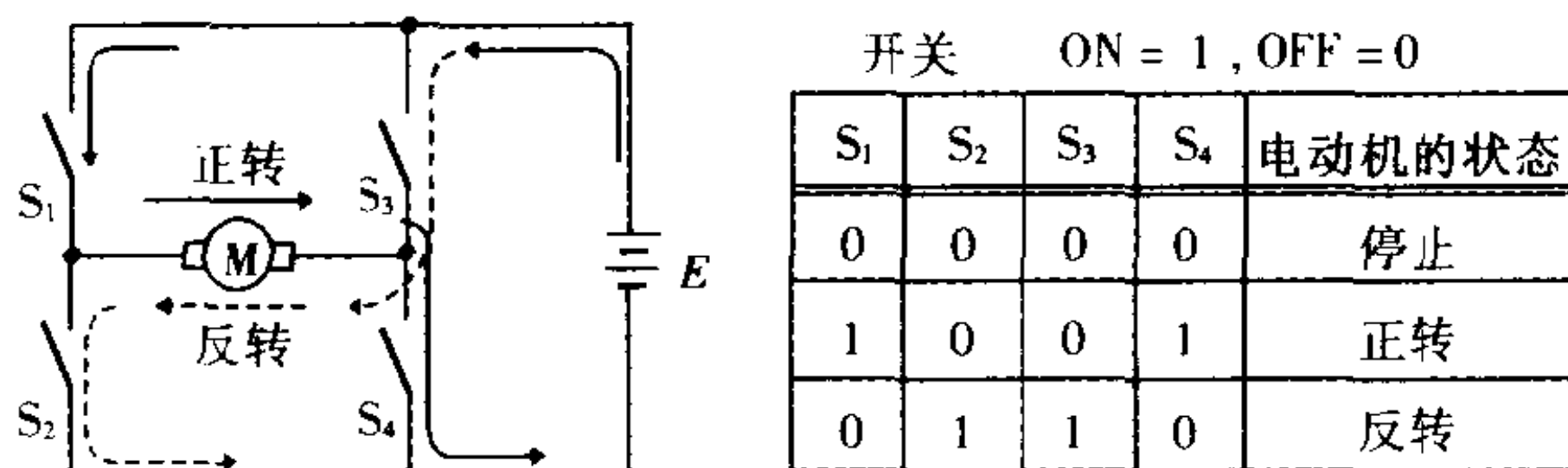


图 3.62 直流电动机的旋转控制

若四个晶体管断开, 则电动机停转。在使电动机正转时, 只要使 $Tr_1 = ON, Tr_2 = OFF, Tr_3 = OFF, Tr_4 = ON$ 即可。要使电动机反转, 则使 $Tr_1 = OFF, Tr_2 = ON, Tr_3 = ON, Tr_4 = OFF$ 。

二极管 $D_1 \sim D_4$ 用来保护晶体管, 避免因电动机正反转而产生的过电流而损坏。

图 3.63 所示为 CPU 采用 Z 80 时直流电动机重复正转→停止→反转→停止→正转的程序。

直流电动机的转速可以用电压进行控制。所加电压可如图 3.64 所示, 利用脉冲电压进行调速, 将这叫做 PWM (pulse width modulation, 脉宽调制) 控制。另外, 还有一种控制方法是采用如图 3.65 所示的 D/A 变换器, 利用微型计算机输出的数字信号进行调速。上述方法也都能利用编码器进行速度控制或利用限位开关等进行定位控制。

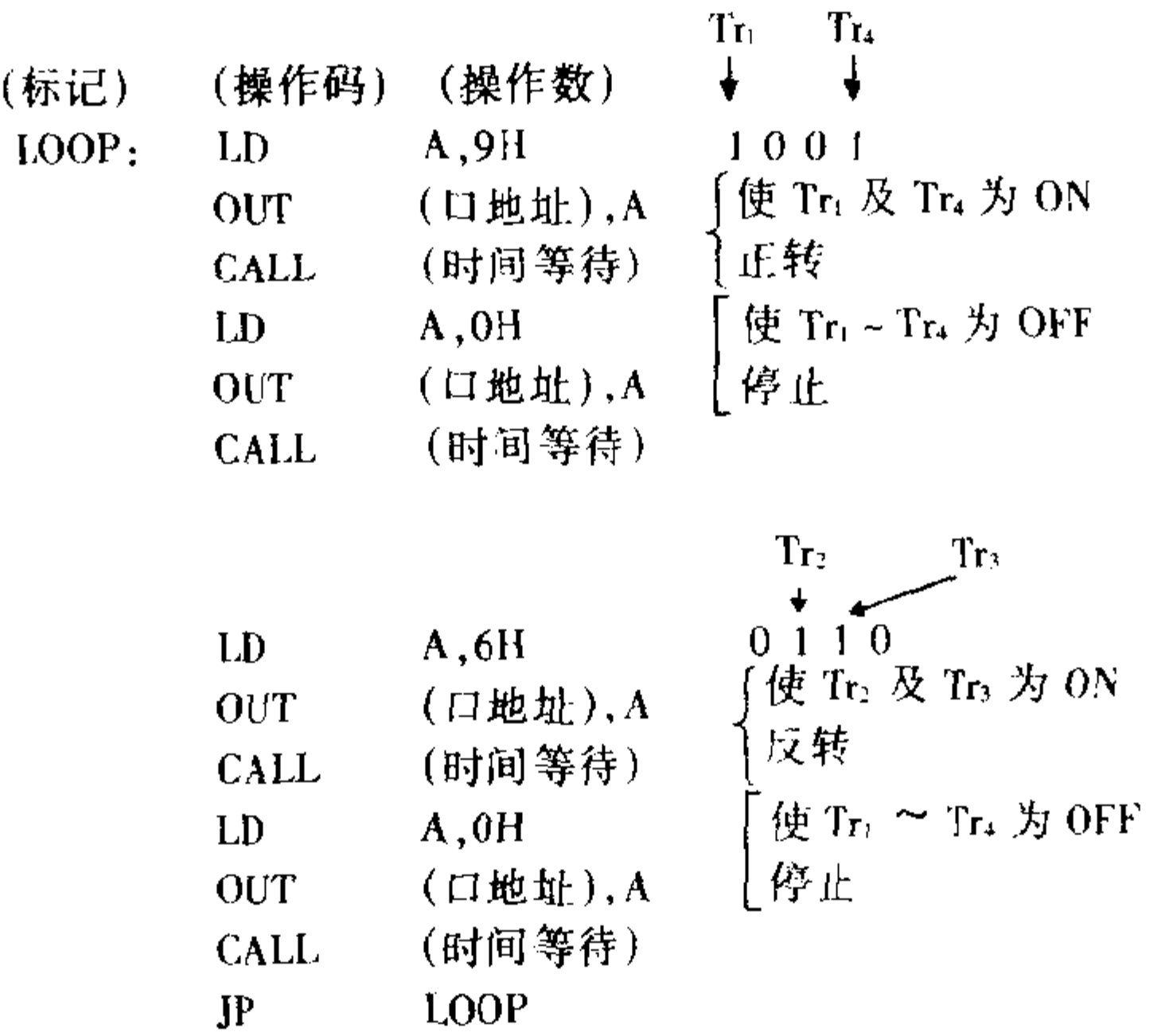


图 3.63 伺服电动机的正反转程序

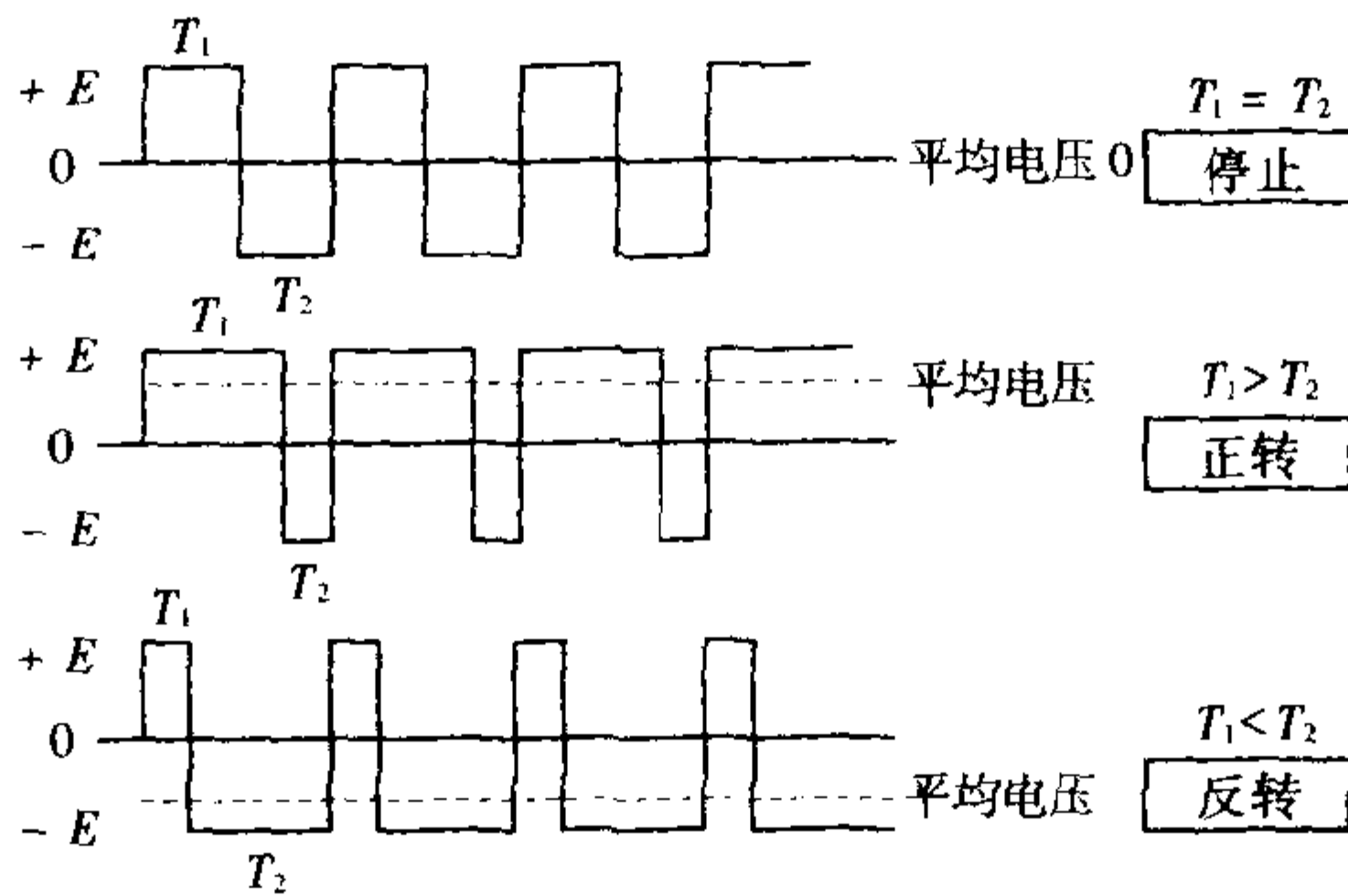


图 3.64 直流电动机的 PWM 控制

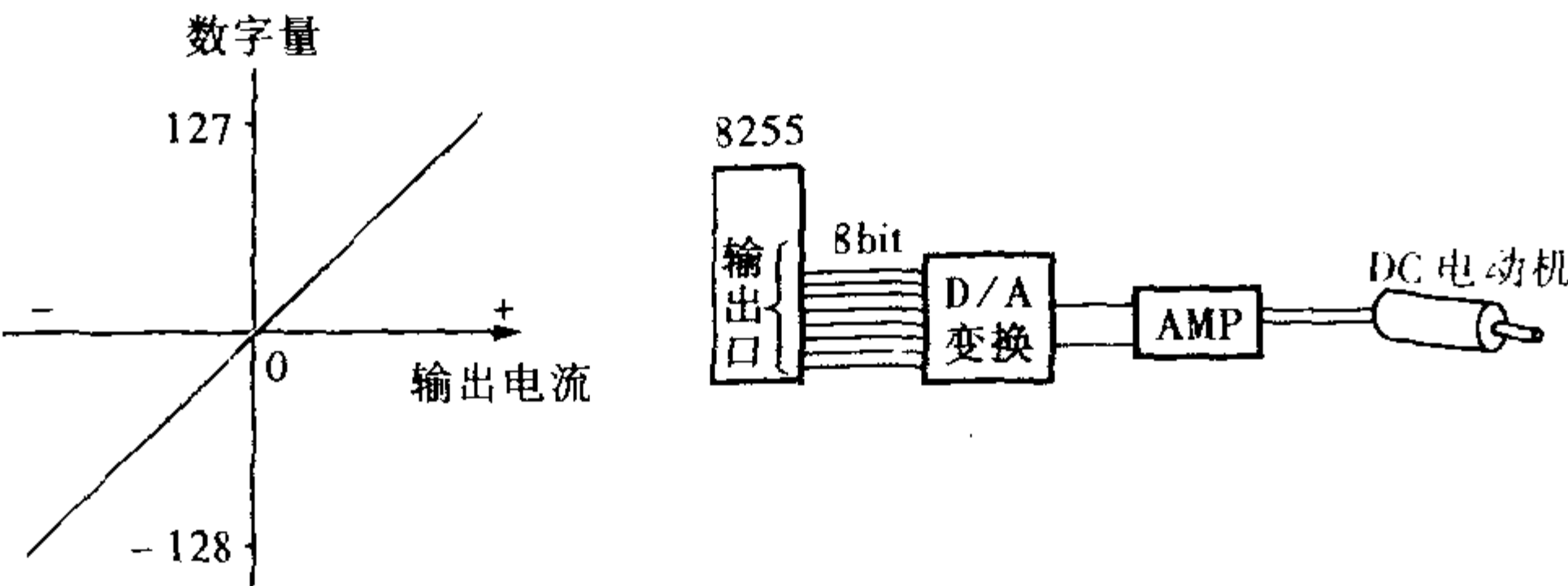


图 3.65 直流电动机的速度控制

3.11

计算机控制(2)

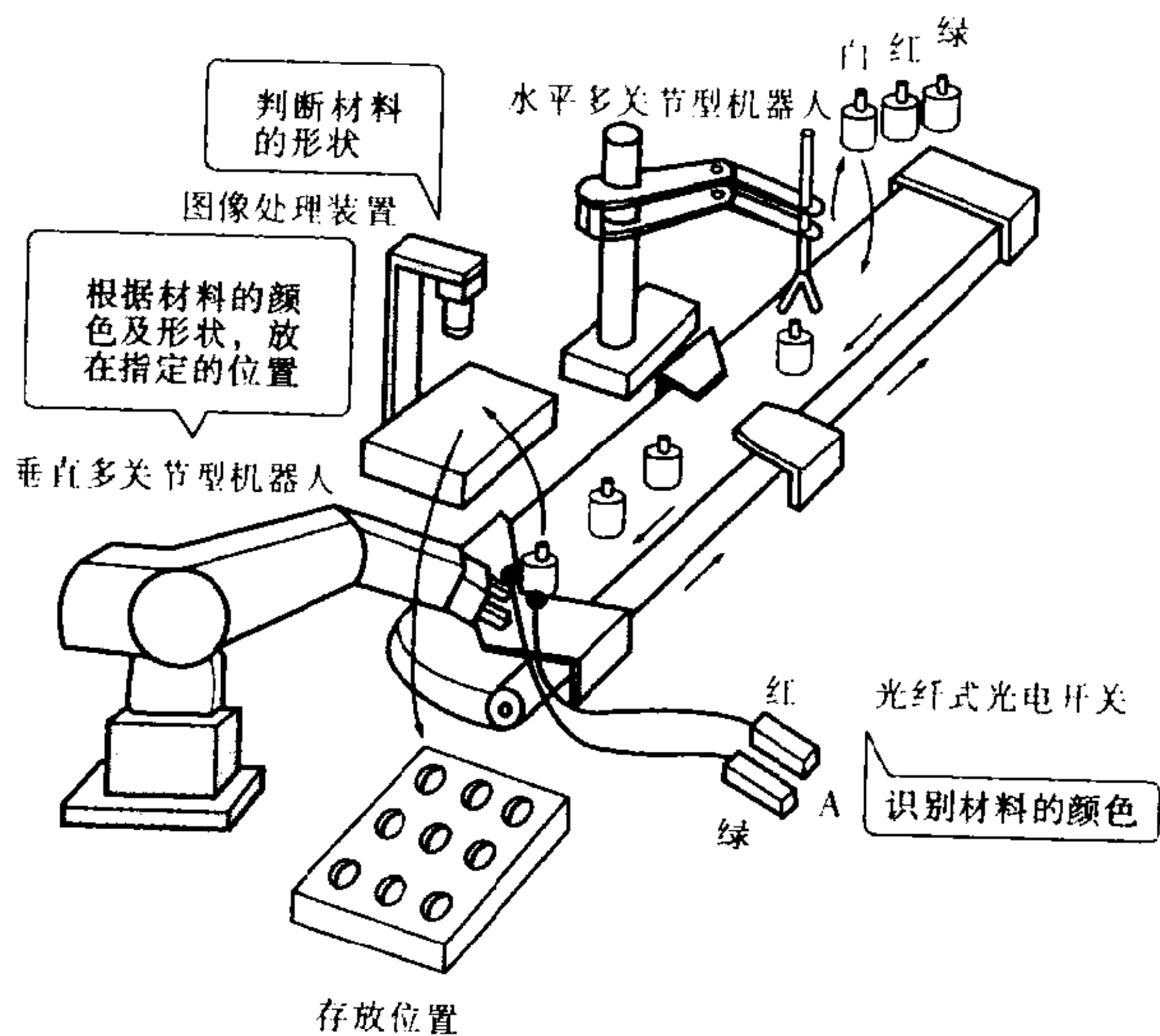


图 3.66 材料的颜色识别及形状分类系统

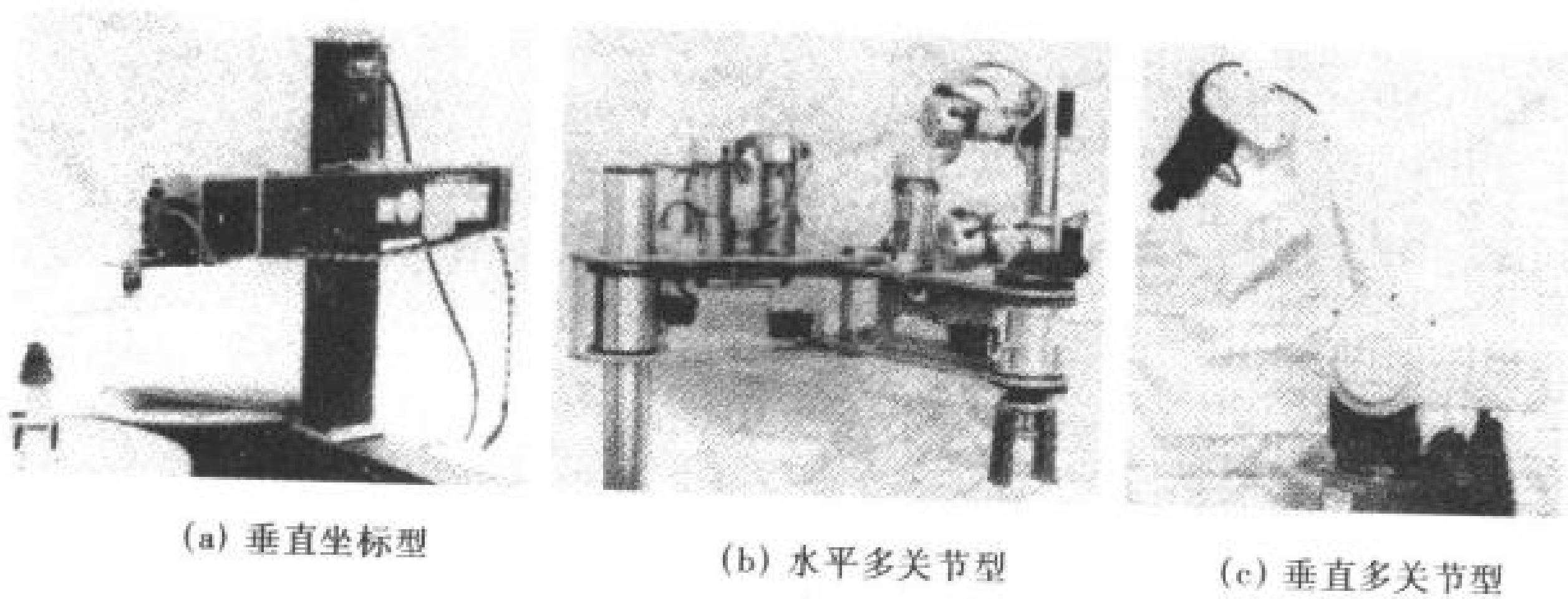


图 3.67 工业机器人的分类

3.11.1 机器人的控制

若根据运动机构对工业机器人进行分类, 则有下列几种

(a) 垂直坐标型机器人(参见图 3.67(a))

具有 X,Y,Z 轴方向的直线运动机构。

(b) 水平多关节型机器人(参见图 3.67(b))

具有相对于水平方向的旋转运动机构及上下方向的直线运动机构。

(c) 垂直多关节型机器人(参见图 3.67(c))

由旋转运动机构构成。

如图 3.68 所示, 机器人由机器人本体、控制装置 (参见图 3.69)、示教盒 (参见图 3.70) 及计算机构成。

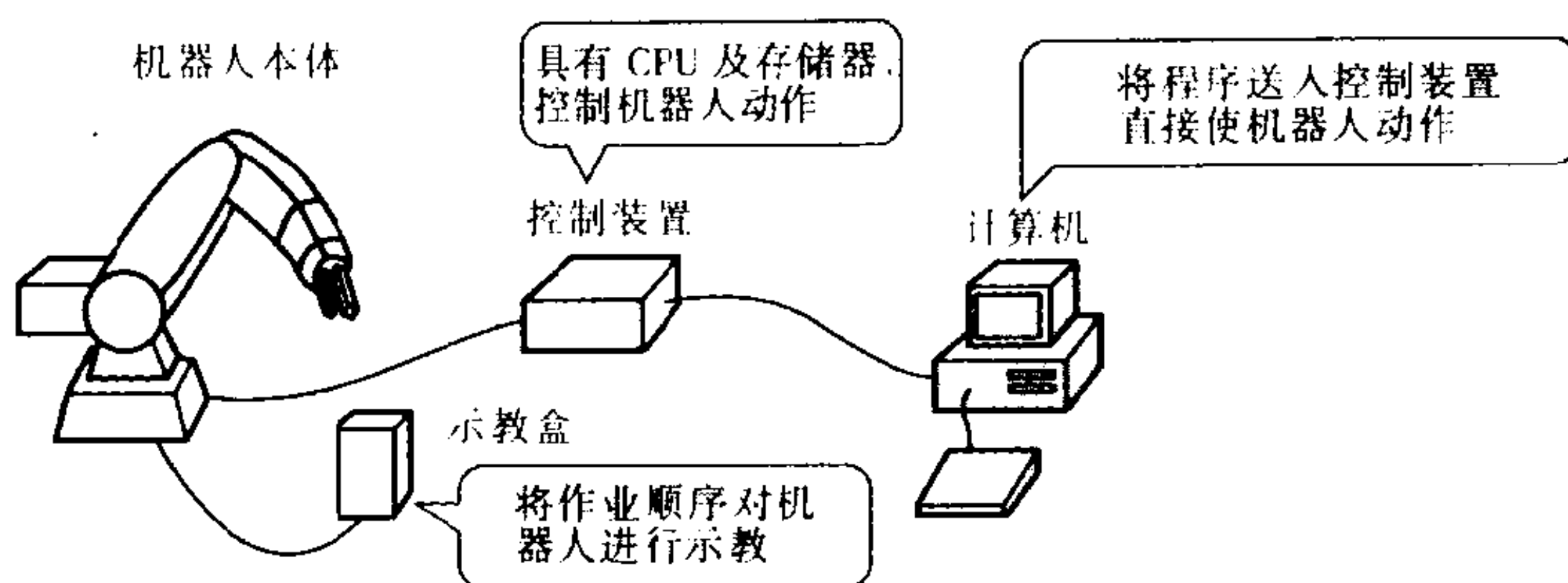


图 3.68 机器人的构成

机器人的控制从利用示教盒对作业顺序进行示教开始。将驱动机器人的控制装置接通电源,使机器人动作的伺服电动机开始旋转,并开始向限位开关决定的机械原点运动。

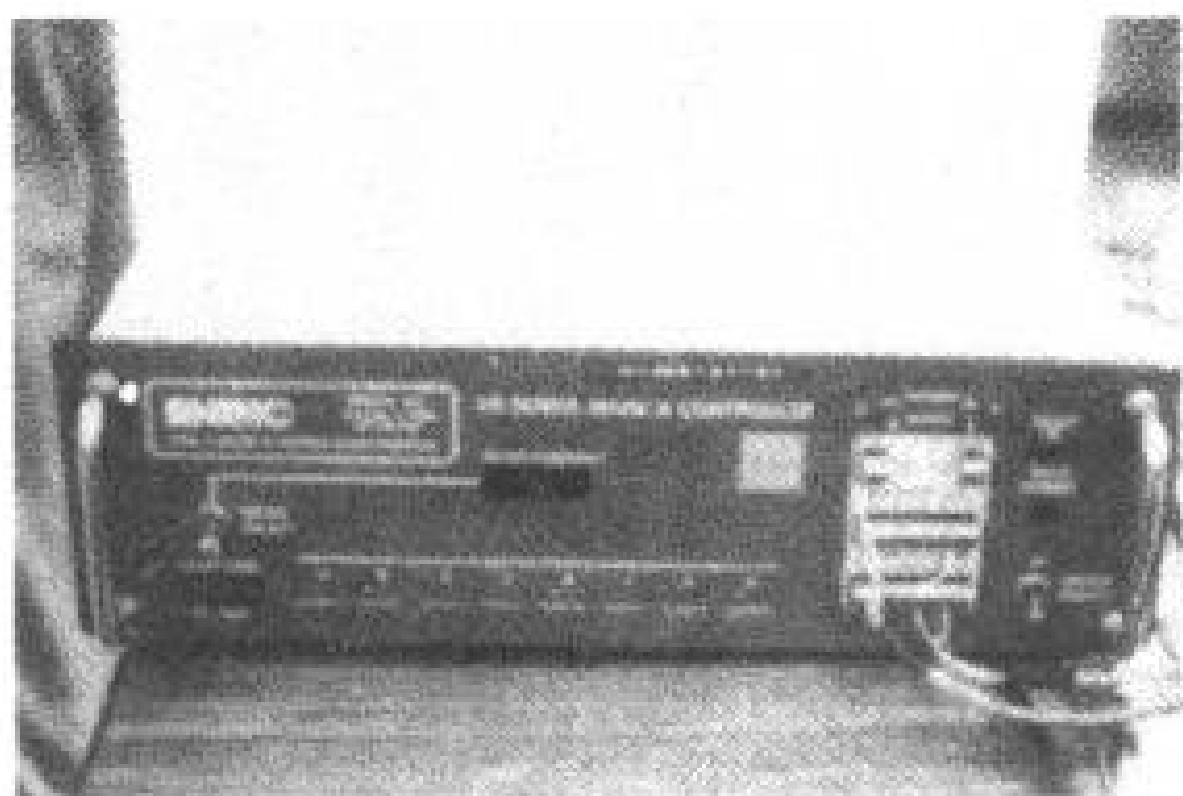


图 3.69 控制装置

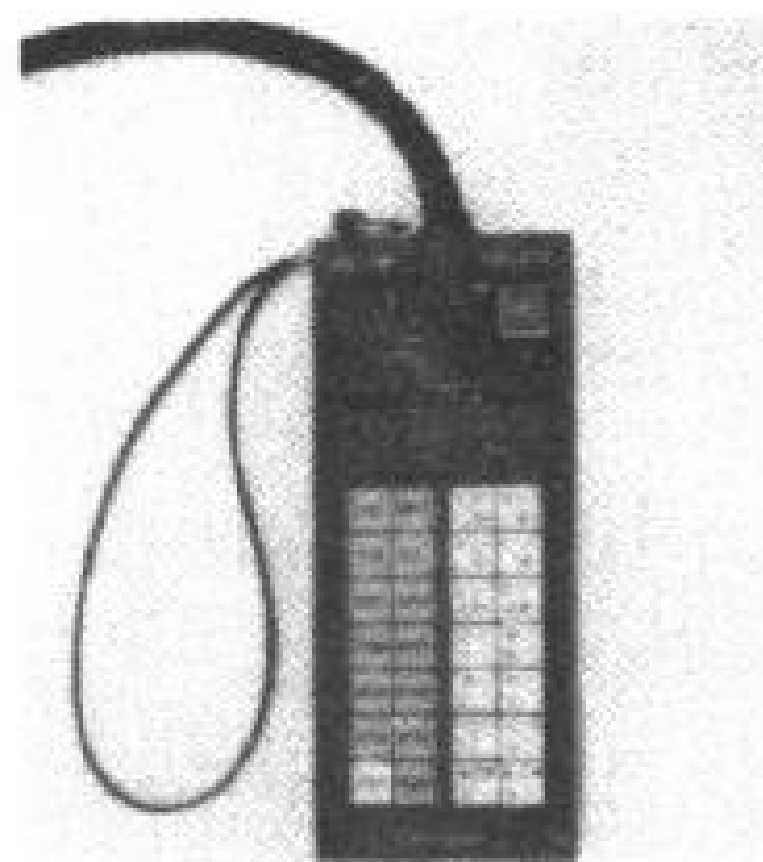


图 3.70 示教盒

在确认机械原点后，从机械原点起利用编码器确定机器人坐标。若利用示教盒对机器人进行作业顺序的示教，则将其动作顺序及坐标存储在控制装置的存储器中，示教结束后，能够再现示

教的动作。

机器人具有所谓机器人语言的独特的程序语言,能够从计算机将机器人的程序传送到控制装置的存储器中,也能够直接使机器人动作。

图 3.66 是垂直多关节型机器人进行材料的颜色识别及形状分类的系统。通过传送带传送过来的材料有红、绿、白三种颜色。在地点 A 安装两种红色及绿色的反射型光纤式光电开关。两个传感器因材料的颜色不同而产生图 3.71 所示的反射信号,能够识别三种颜色。

系统将传感器得到的信号送给机器人,机器人接收到来自传感器的信号,即抓取材料并将材料送至图像处理装置。从图像处理装置将形状分类信号送回给机器人,机器人根据颜色及形状将材料放在指定的位置。

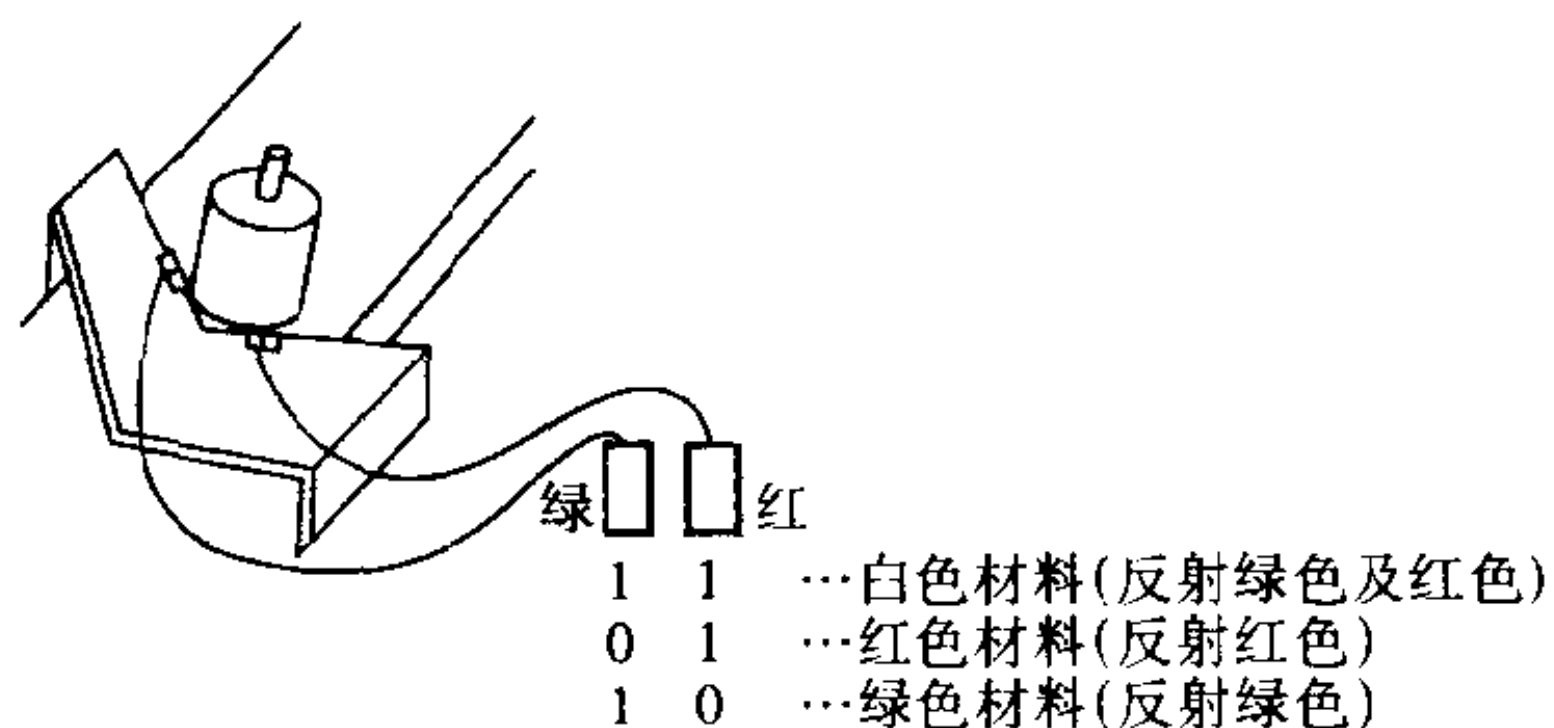


图 3.71 利用光电传感器判别颜色

3.11.2 电子交换机的控制

图 3.72 是对电话交换进行计算机控制的电子交换机的系统图。

电子交换机由利用中央处理装置 (CC) 执行电话交换用程序的中央处理系统 (CP 系统)、连接系统成员之间的通话线路系统 (SP 系统)、磁鼓、磁带及打印机等输入输出系统 (IO 系统) 构成。

以微秒数量级动作的 CP 系统与开关或继电器等以毫秒数量级动作的 SP 系统之间用具有缓冲功能的信息接收分配装置 (SRD) 连接。

系统成员与线路连接网络(LLN)相连,当拿起听筒时,继电器动作,利用系统成员扫描装置(LSCN)将信号传送至CC。CC将DT(拨号音)信号传送至系统成员,处于接收来自系统成员的电话号码的状态。CC一旦接收了电话号码,则立即进行译码,若是本局内,则系统成员将命令输出给SRD,若是其他局的,则将命令输出给SRD,以便连接中继线(TRK),将信号传送至对方局。

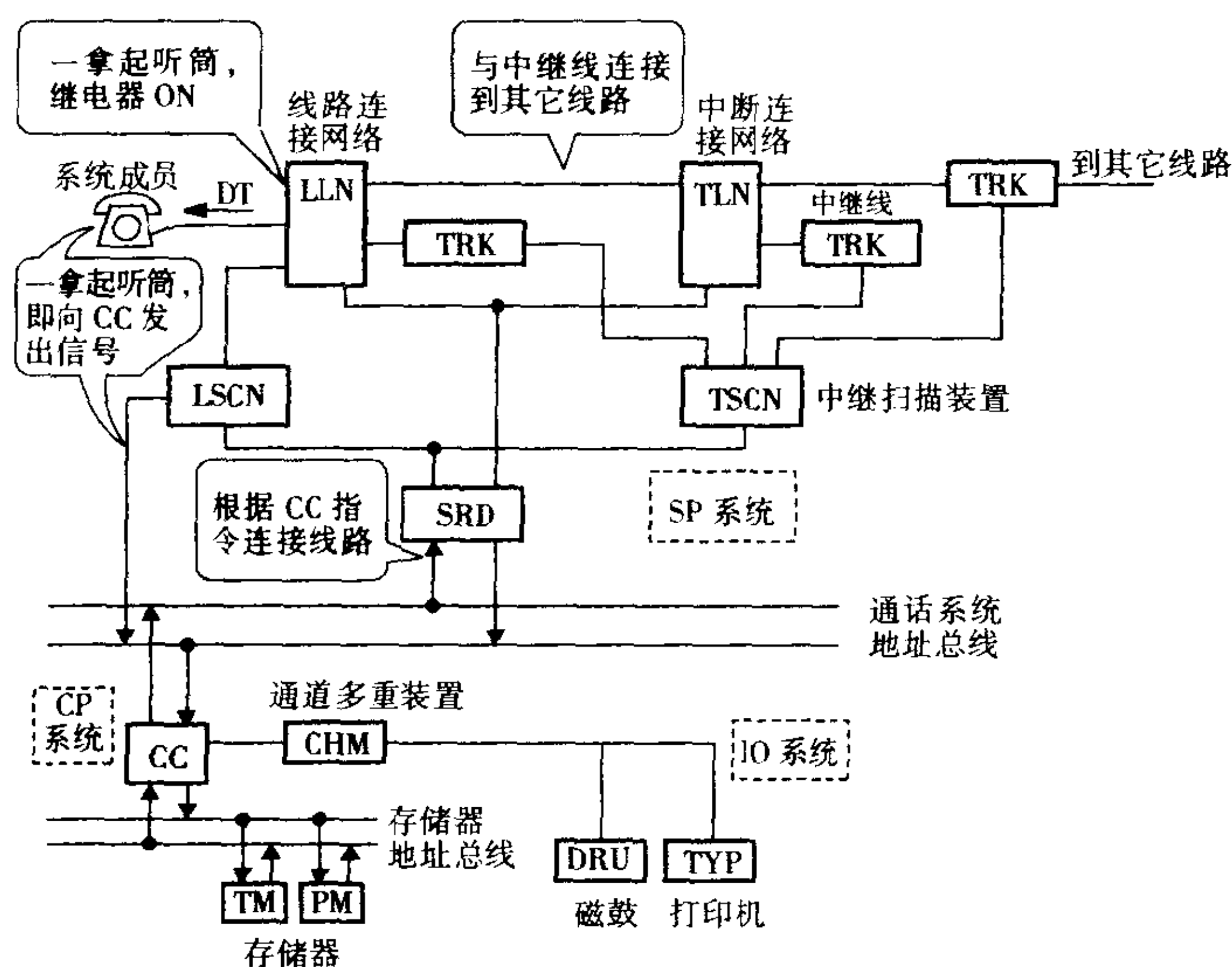


图 3.72 电子交换机的系统图

IV

电 化 学

将化学能变为电能的有电池, 利用电流作用的有电解化学, 利用电热的有电热化学。

本章将学习电化学的基础、利用氧化还原的不能充电的一次电池、能够充电的二次电池、使燃料与氧反应直接取出电能的燃料电池及从太阳光获得电能的太阳能电池等知识。

作为电解化学, 要学习电解、电镀、电铸、电解研磨等知识。另外, 还要学习利用电热的电炉的优点。

4.1 电化学的基础

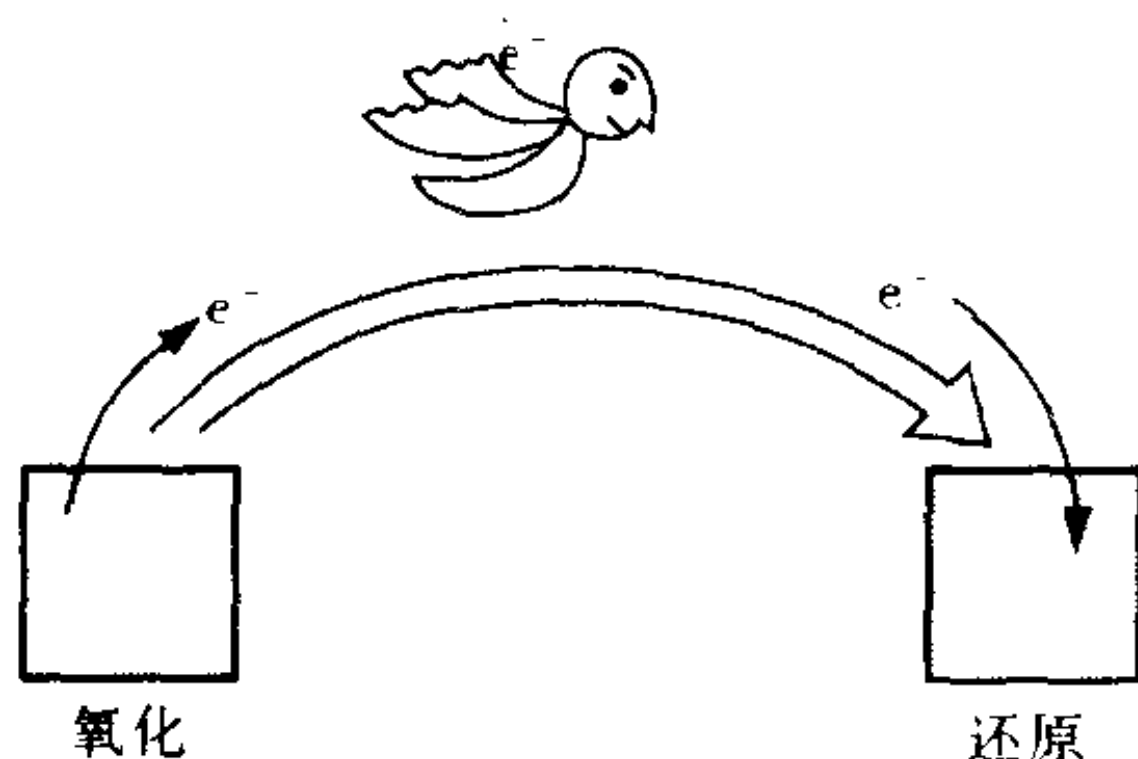


图 4.1 氧化与还原

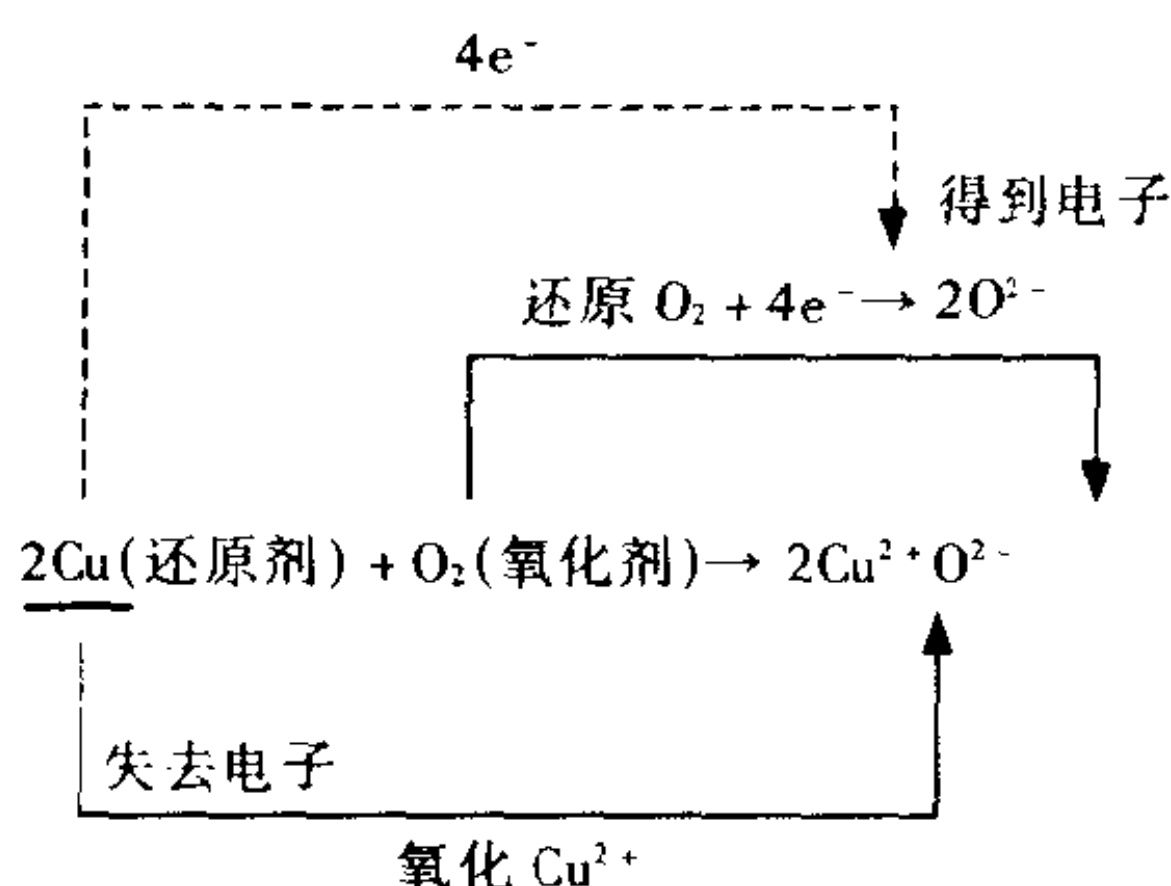
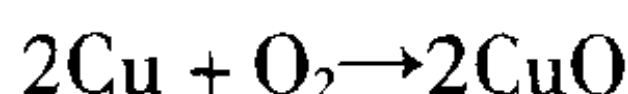


图 4.2 氧化还原反应

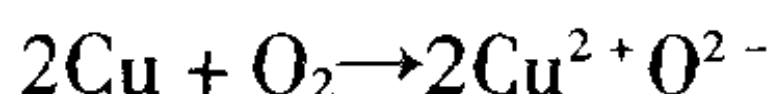
4.1.1 氧化与还原

当某一物质失去电子时,该物质叫做被氧化。反之,得到电子时,该物质叫做被还原(参见图 4.1)。

若将铜在空气中加热,则变成黑色的氧化铜,变化如下所述



这里若注意电子的移动来看该反应,则



每个铜原子失去两个电子,而每个氧原子得到两个电子(参见图 4.2)。

在一个反应中,如果有失去电子的物质,则必然有接受该电子的物质,因此氧化与还原是同时发生的。将伴随着电子交换的

反应叫做氧化还原反应。

在氧化还原反应中, 将对方物质进行氧化的物质叫做氧化剂, 将进行还原的物质叫做还原剂。氧化剂是容易被还原(容易夺走电子)的物质, 还原剂是容易被氧化(容易给出电子)的物质。

4.1.2 电离趋势

金属在水溶液中, 具有容易放出电子成为阳离子的性质, 将这叫做电离趋势, 将金属按电离趋势大小的顺序排列叫做电离系列(参见图 4.3)。

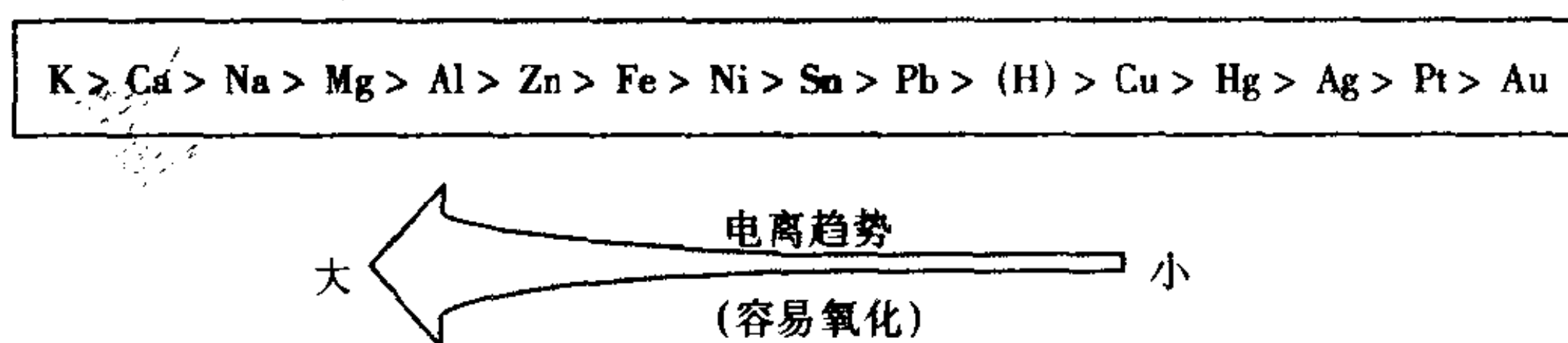


图 4.3 金属的电离趋势

4.1.3 伏打电池

利用氧化还原反应持续取出电子并使电流流向外部的装置叫做电池。伏打电池是将电离趋势不同的锌板及铜板放入稀硫酸中的电池(参见图 4.4)。

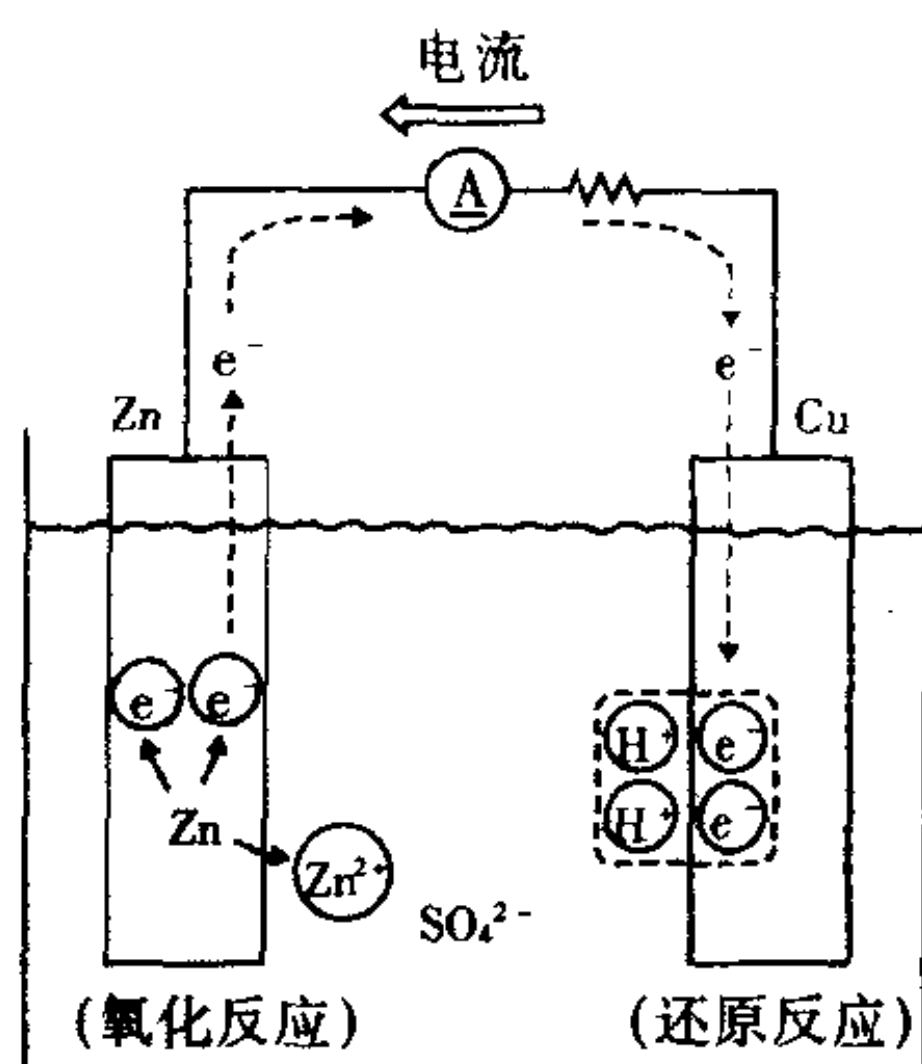
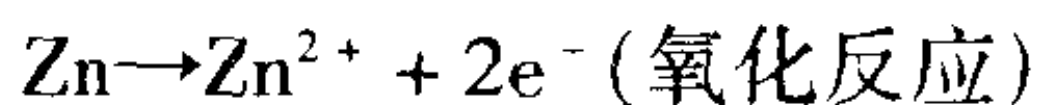
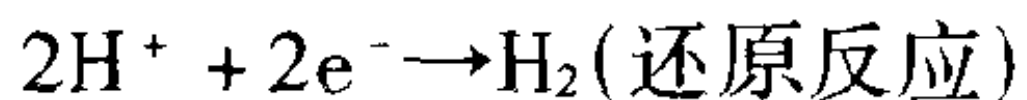


图 4.4 伏打电池

电离趋势大的锌在稀硫酸中产生锌离子(Zn^{2+})溶出, 在锌板表面产生电子 e^- 。



若用导线连接伏打电池的锌板及铜板,则在锌板上产生的电子通过导线流向铜板一侧,在铜板表面与溶液中的氢离子反应,产生氢气 H_2 。



因此,电流从铜板流向锌板。

伏打电池的电动势约为 1.1V,但立即下降。这是因为在铜板表面产生的氢气又产生了返回氢离子的反应。



将这样的现象叫做极化。为了不产生氢气,可加入氧化剂,这样则生成水。为防止极化所加的氧化剂叫做去极化剂,在伏打电池的情况下,采用过氧化氢水溶液等。

4.2

一次电池(原电池)

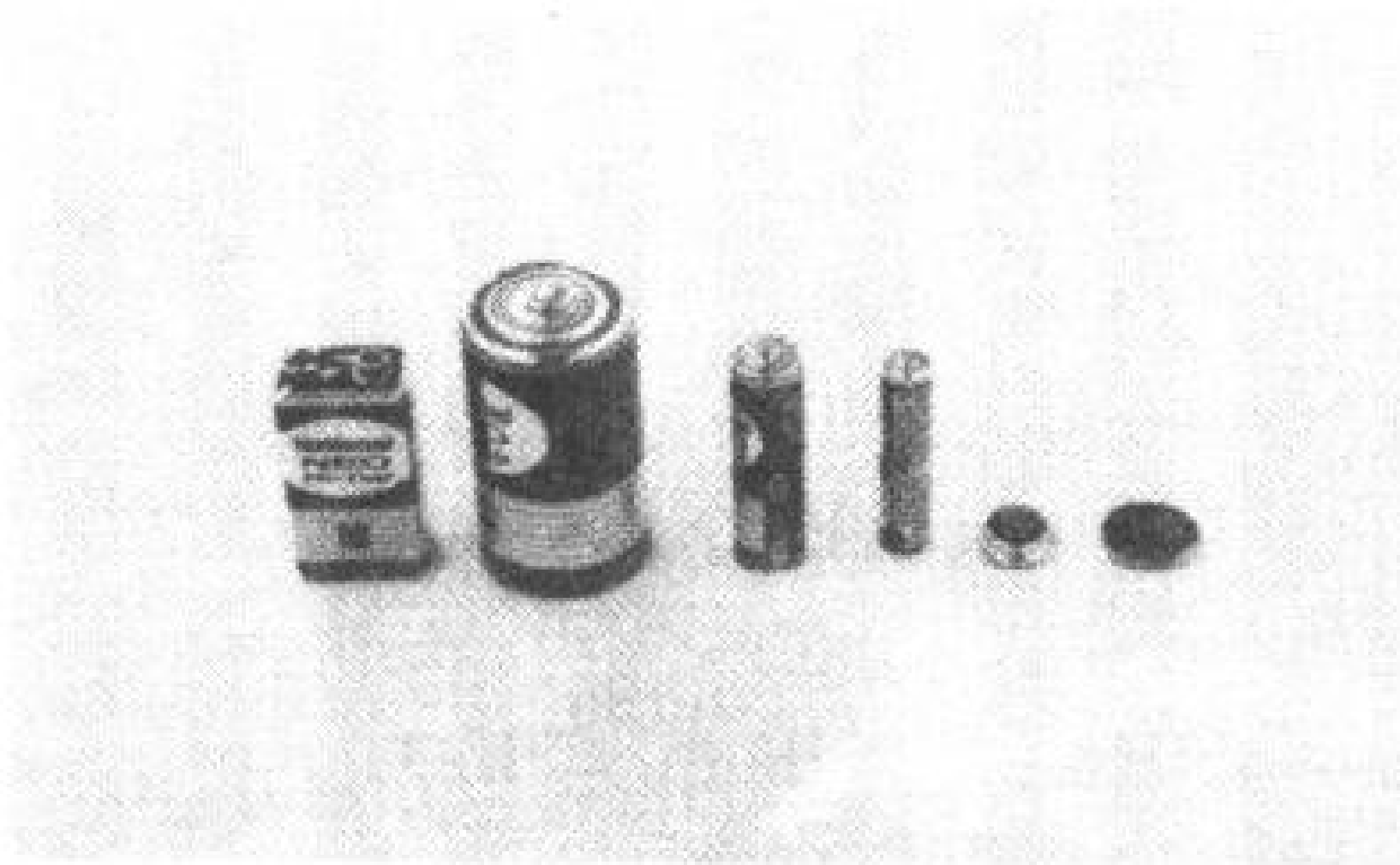


图 4.5 主要的干电池

表 4.1 一次电池的主要种类

电池名称	额定电压 [V]	正极活性物质 (去极化剂)	电解质	负极活性物质 (负极)	用途
锰干电池	1.5	MnO ₂	NH ₄ Cl ZnCl ₂	Zn	通信 电灯
碱性锰干 电池	1.5	MnO ₂	KOH	Zn	比锰干电池 更适合重负载
氧化银电池	1.55	Ag ₂ O	KOH 或 NaOH	Zn	钟表
空气电池	1.4	O ₂	KOH	Zn	助听器
汞电池	1.35 1.4	HgO	KOH 或 NaOH	Zn	无线话筒 钟表
二氧化锰 锂电池	3.0	MnO ₂	有机电解质	Li	IC 卡 电子记事本

4.2.1 一次电池

所谓一次电池，是一旦使其完全放电，则电动势下降，不能恢复到原来状态的电池。另外，电池中的电解液固化成凝胶体状、便于携带的一次电池是干电池(参见图 4.5)。

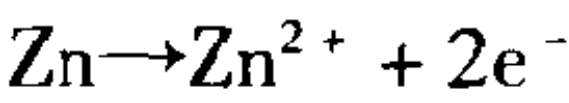
一次电池的主要种类示于表 4.1 中。

4.2.2 锰干电池

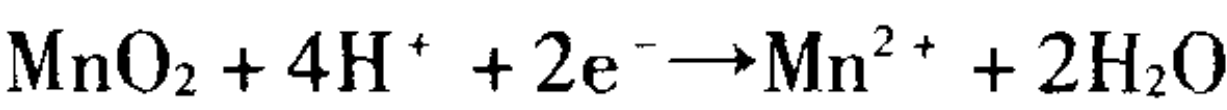
锰干电池是干电池中的代表, 价格便宜, 应用广泛。图 4.6 为锰干电池的构造。

锰干电池将二氧化锰作为正极活性物质 (去极化剂), 负极采用锌, 电解液采用氯化铵及氯化锌水溶液。

负极的锌产生锌离子溶解, 在锌板产生电子。



锌板产生的电子流过外电路, 向碳棒移动, 与二氧化锰 MnO_2 结合。二氧化锰兼作去极化剂, 由于将正极产生的氢离子加以氧化生成水, 因此不产生极化。



锰干电池的电动势为 1.5V。

图 4.7 为将锰干电池加以层叠而得到高电压的层叠型干电池的构造。

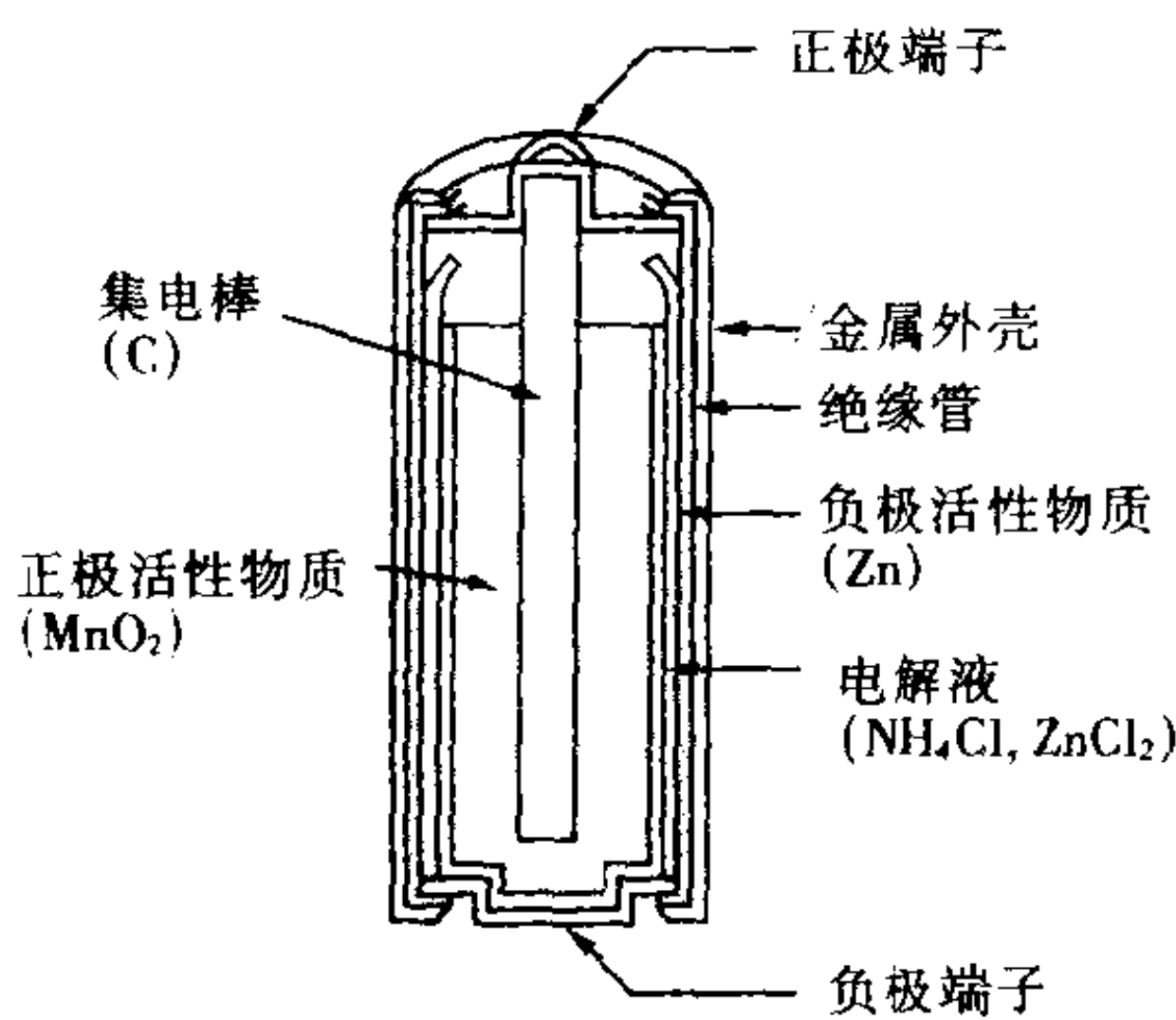


图 4.6 锰干电池的构造图

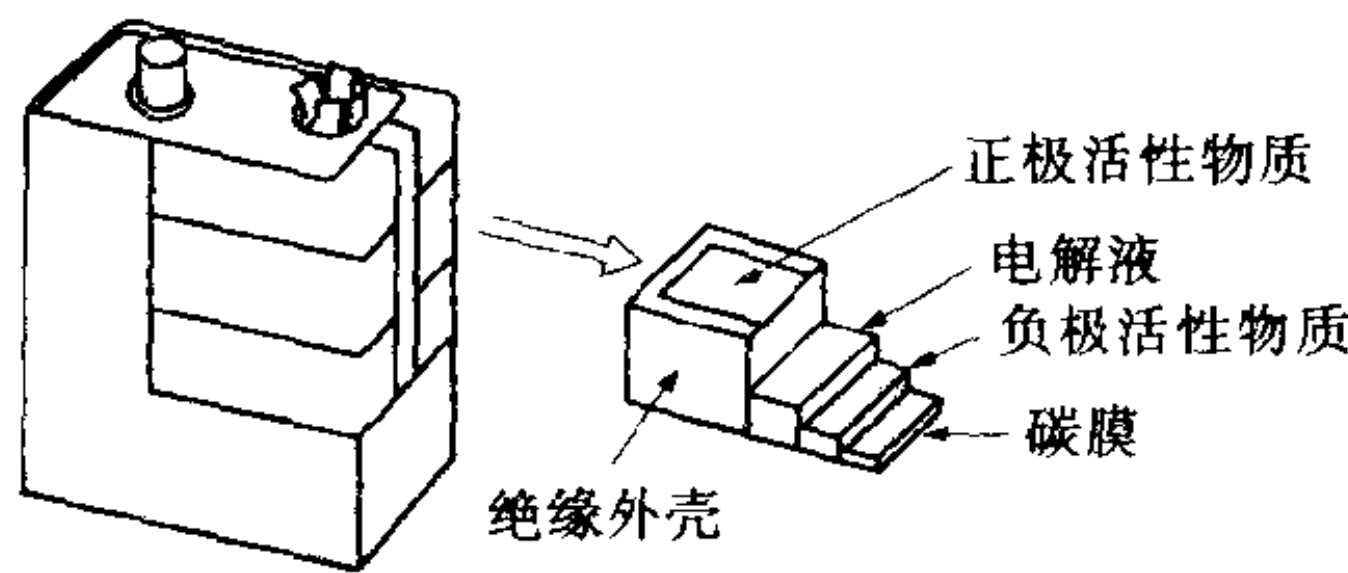


图 4.7 层叠型干电池的构造

4.2.3 碱性锰干电池

图 4.8 为碱性锰干电池的构造。正极活性物质采用二氧化锰, 负极采用凝胶状的锌, 电解液采用氢氧化钾(KOH)水溶液。

由于碱性锰干电池的电解液采用 pH 值变化小的氢氧化钾, 因此由于放电引起的电压变动小。另外, 由于采用凝胶状的锌, 表面积大, 因此能够持续流过大电流。所以该电池适合用于负载大的设备, 其性能比锰干电池优越。

锰干电池由于锌溶解进行放电, 因此有时锌容器会穿孔而漏液。而碱性锰干电池使用铁容器, 由于氢氧化钾电解液不溶解铁, 因此容器不会穿孔, 防漏性能很好。

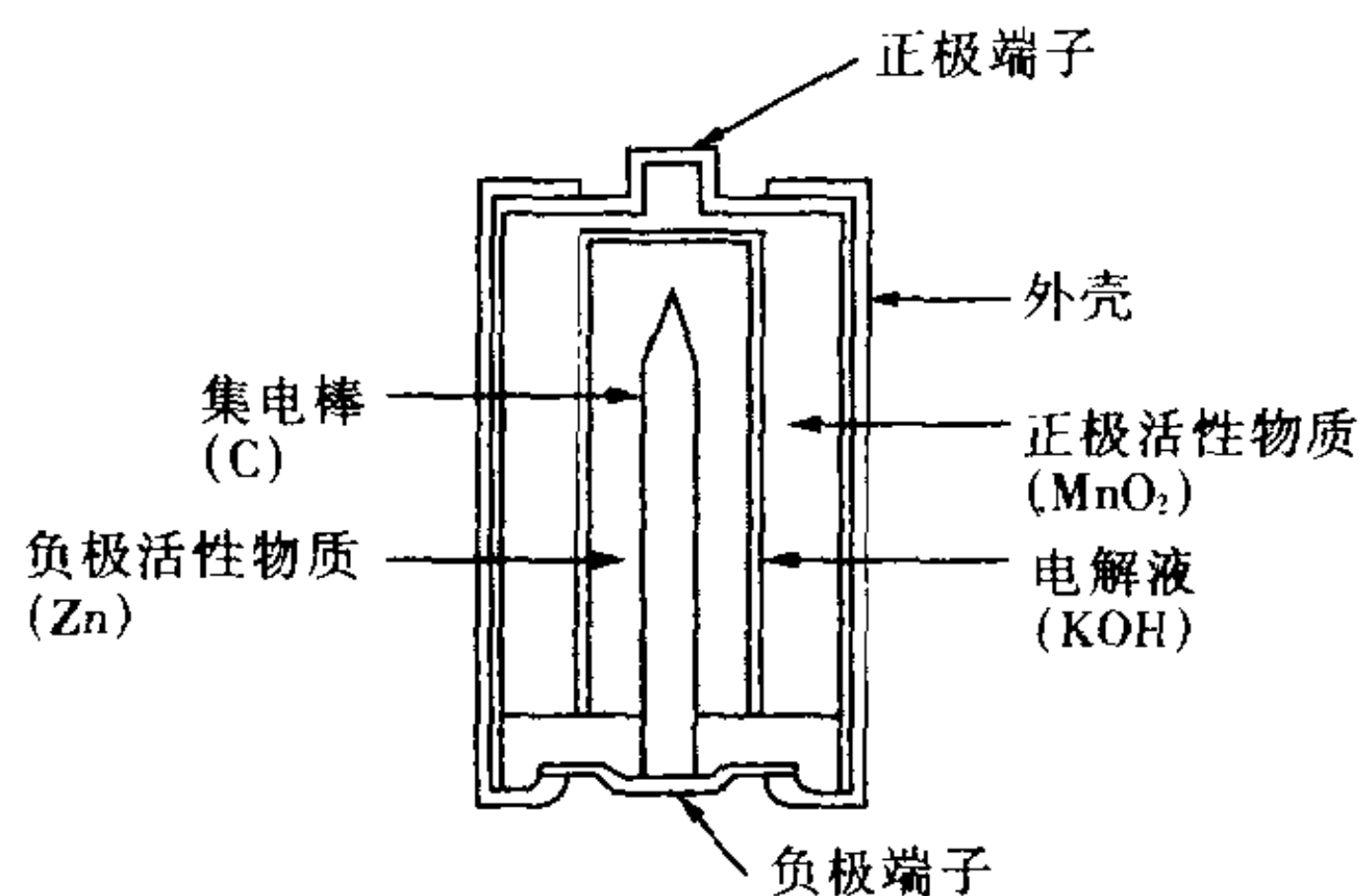


图 4.8 碱性锰干电池的构造

4.2.4 氧化银电池

图 4.9 为钮扣形氧化银·锌电池的构造。正极活性物质采用氧化银, 负极采用锌, 电解液采用氢氧化钾或氢氧化钠水溶液。正极与电解液之间的隔膜防止因离子通过及两极间短路而引起的

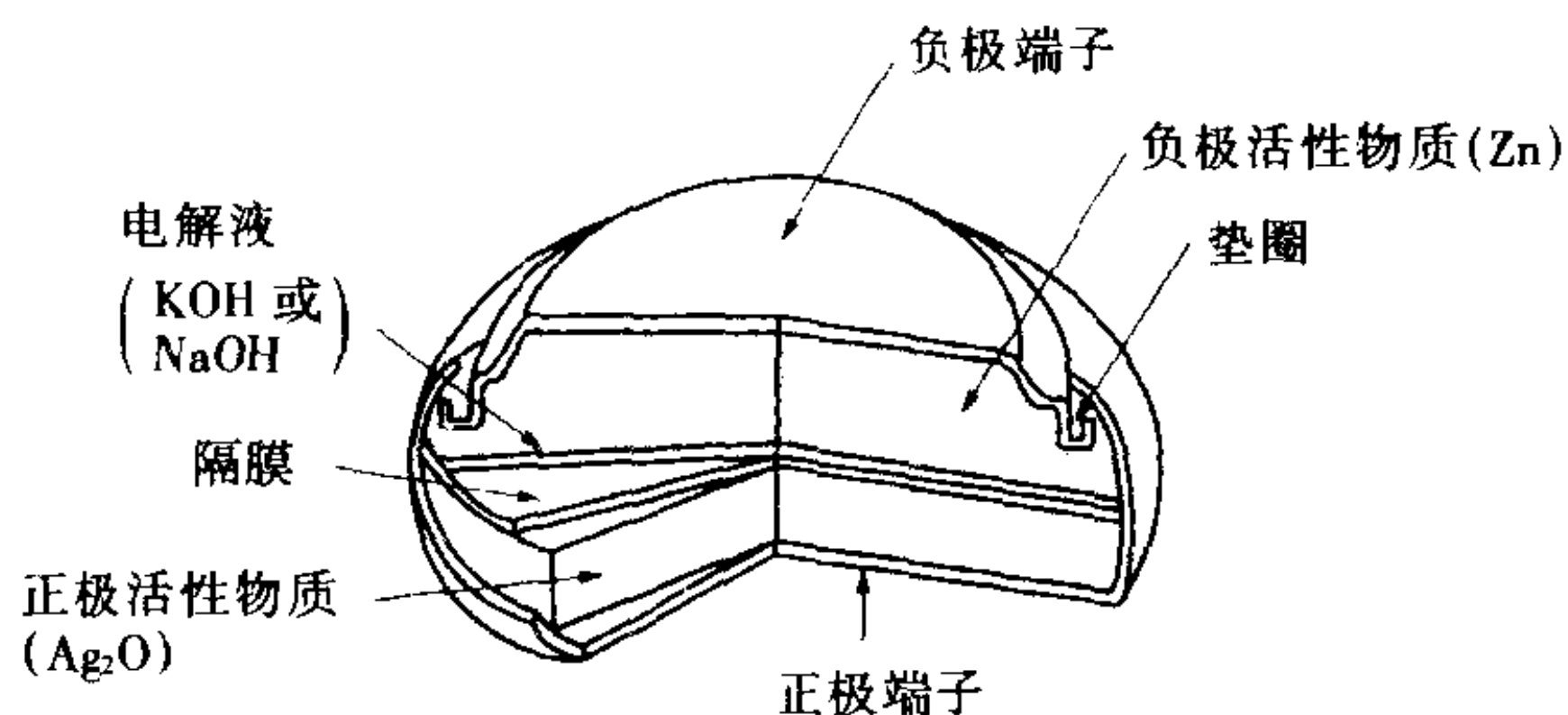


图 4.9 钮扣形氧化银电池的构造

自放电。

该电池的电动势为 1.55V, 具有钮扣形电池中最稳定的电压特性及很宽的温度特性。用于电子计算器、电子打火机及手表等。

4.2.5 汞电池

汞电池的正极活性物质采用氧化汞, 负极采用锌, 电解液采用氢氧化钾或氢氧化钠水溶液。钮扣形汞电池与图 4.9 的氧化银电池的构造相同, 只是将正极活性物质的氧化银 Ag_2O 换成氧化汞 HgO 。

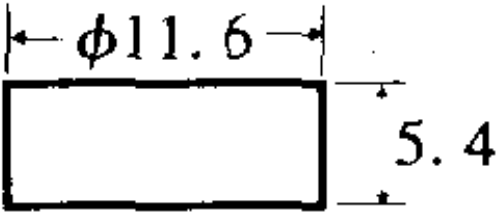
汞电池的电动势为 1.35V, 在氧化汞中混入二氧化锰的电池的电动势为 1.4V。由于汞电池负极锌的氧化产生的电子在正极一侧与氧化汞反应, 还原成金属汞, 因此活性物质内的电阻小, 电压稳定。



汞电池的自放电少, 便于储藏, 高温特性好。表 4.2 所示为钮扣形的汞电池、氧化银电池及碱性电池的比较。

汞电池适合于轻负载, 可用于电子装置、照相机及助听器等。

表 4.2 钮扣形电池的比较

电池名称	JIS	额定电压 [V]	标准电流 [mA]	额定容量 [mA · h]	重 量 [g]	尺 寸
汞电池	NR44	1.4	2	260	2.9	
氧化银电池	SR44	1.55	0.23	180	2.3	
碱性电池	LR44	1.5	0.12	100	1.9	

4.2.6 空气电池

(a) 空气湿电池

空气电池的正极活性物质采用氧气, 负极使用锌, 电解液使用氢氧化钾水溶液。图 4.10 为空气湿电池的构造。

电池的电动势为 1.4V, 没有自放电, 能允许长期放电, 负极

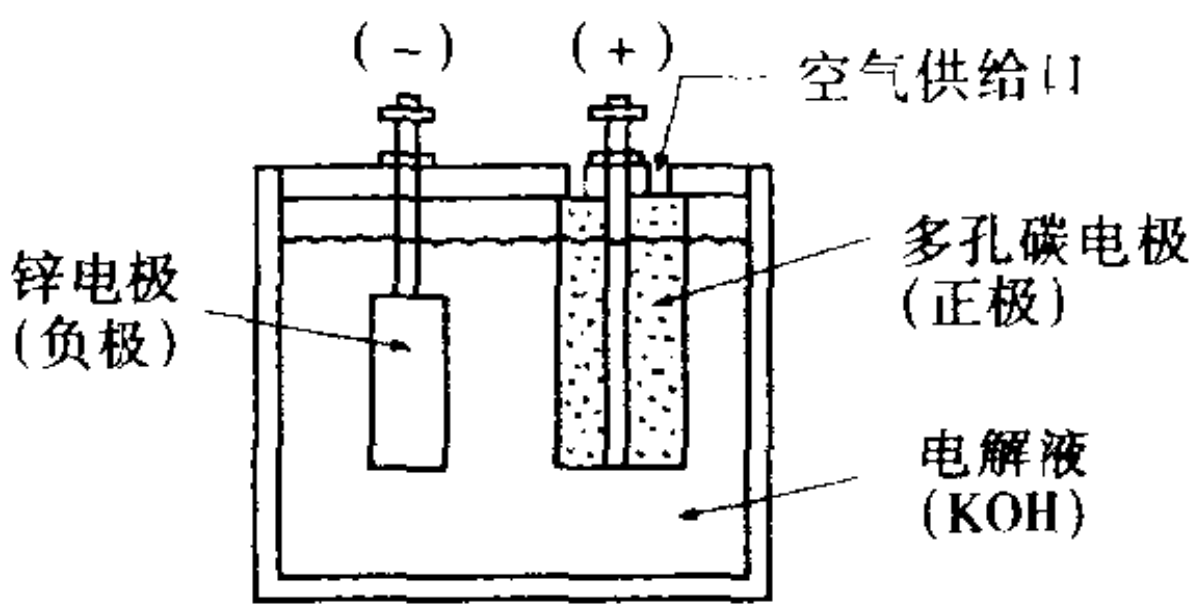


图 4.10 空气湿电池的构造

的锌能够更换, 价格便宜, 维护简单, 用于通信电源、气象观测电源及铁道信号电源等。

(b) 空气干电池

图 4.11 为钮扣形空气干电池的构造。正极一侧有气孔, 若撕下贴在气孔上的封条, 则在数秒内与空气中的氧气反应, 变成能够使用的状态。

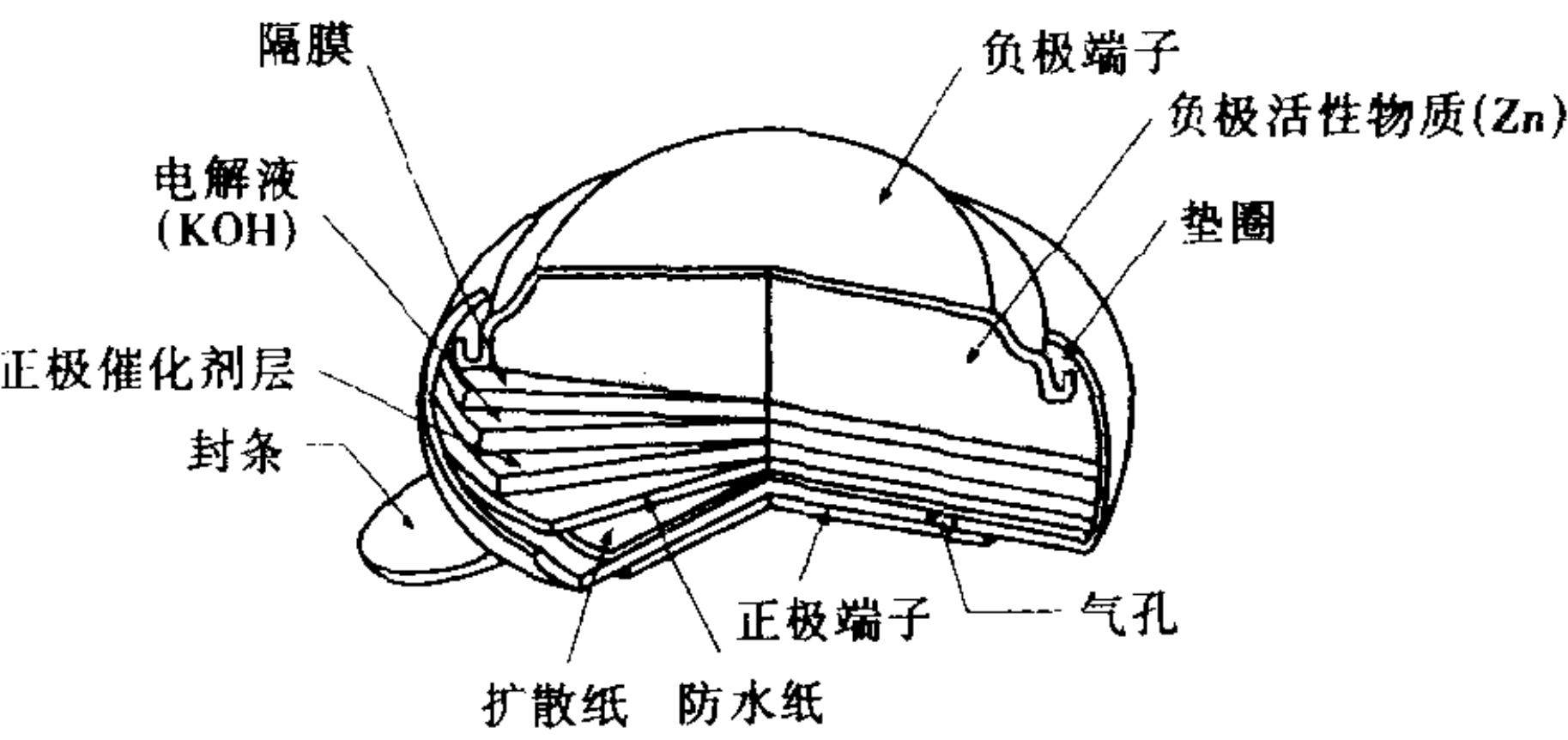


图 4.11 钮扣形空气干电池的构造

由于负极的锌占了电池内的充填物质的大部分, 因此与相同规格的汞电池相比, 容量为其两倍以上, 重量也较轻 (参见表 4.3)。与汞电池一起, 可作为助听器用电池使用。

表 4.3 汞电池与空气电池的比较

电池名称	JIS	额定电压 [V]	标准电流 [mA]	额定容量 [mA · h]	重 量 [g]	尺 寸
汞电池	NR44	1.4	2.0	260	2.9	同表 4.2
空气电池	PR44	1.4	2.0	540	1.8	同表 4.2

4.2.7 锂电池

锂电池的负极活性物质采用锂(Li)。由于锂在常温下与水强烈反应而生成氢氧化物,因此电解液采用非水有机电解质。

图 4.12 为正极活性物质采用二氧化锰的钮扣形二氧化锰锂电池的构造。其他正极活性物质也有采用亚硫酰二氯(SOCl_2)或氧化钒(V_2O_5)。

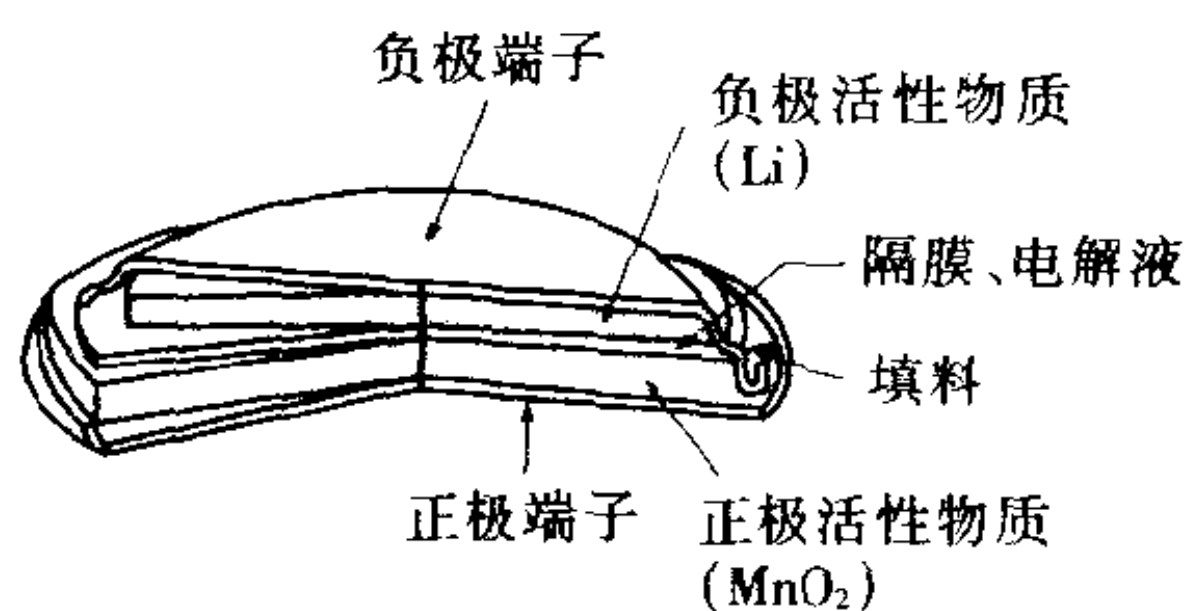


图 4.12 钮扣形二氧化锰锂电池的构造

与以往说明的电池相比,其电动势约为两倍,即 3V。

锂电池具有容量大、自放电少、便于储藏、温度特性好等特点,广泛用于存储器的备用电源等电子应用产品的电源。

4.3 二次电池(蓄电池)

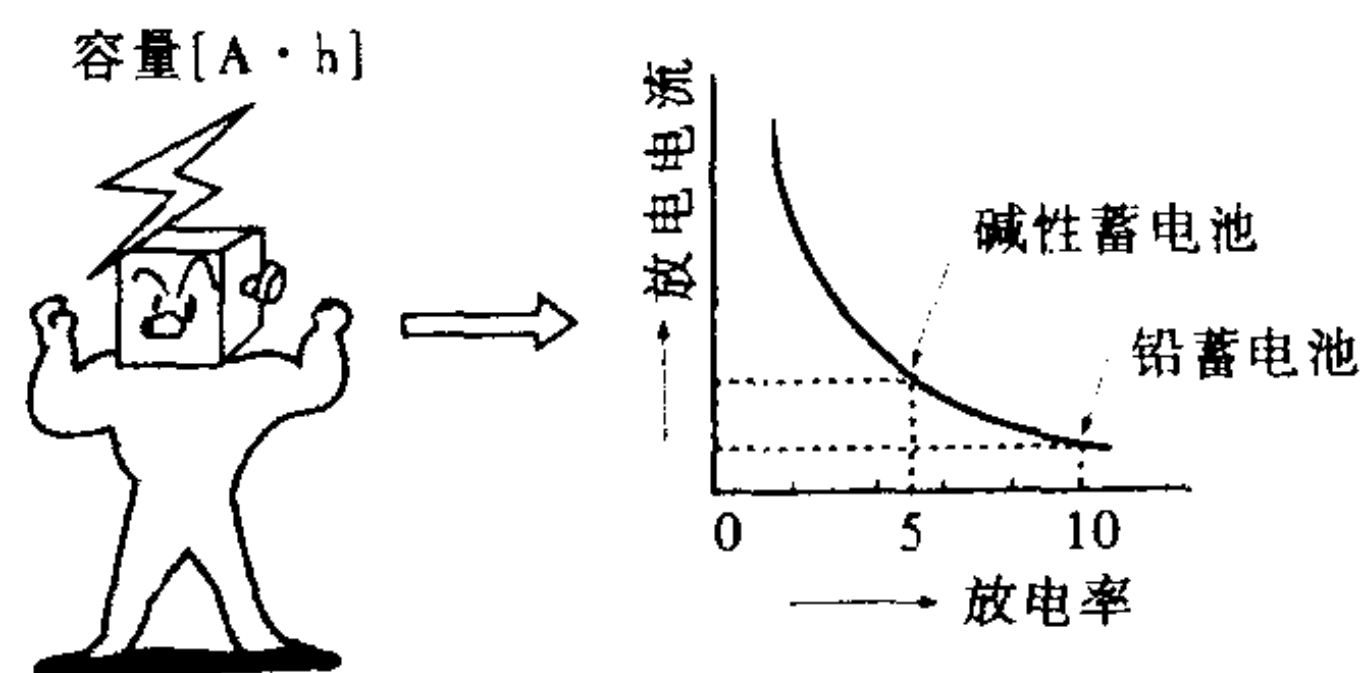


图 4.13 蓄电池的容量

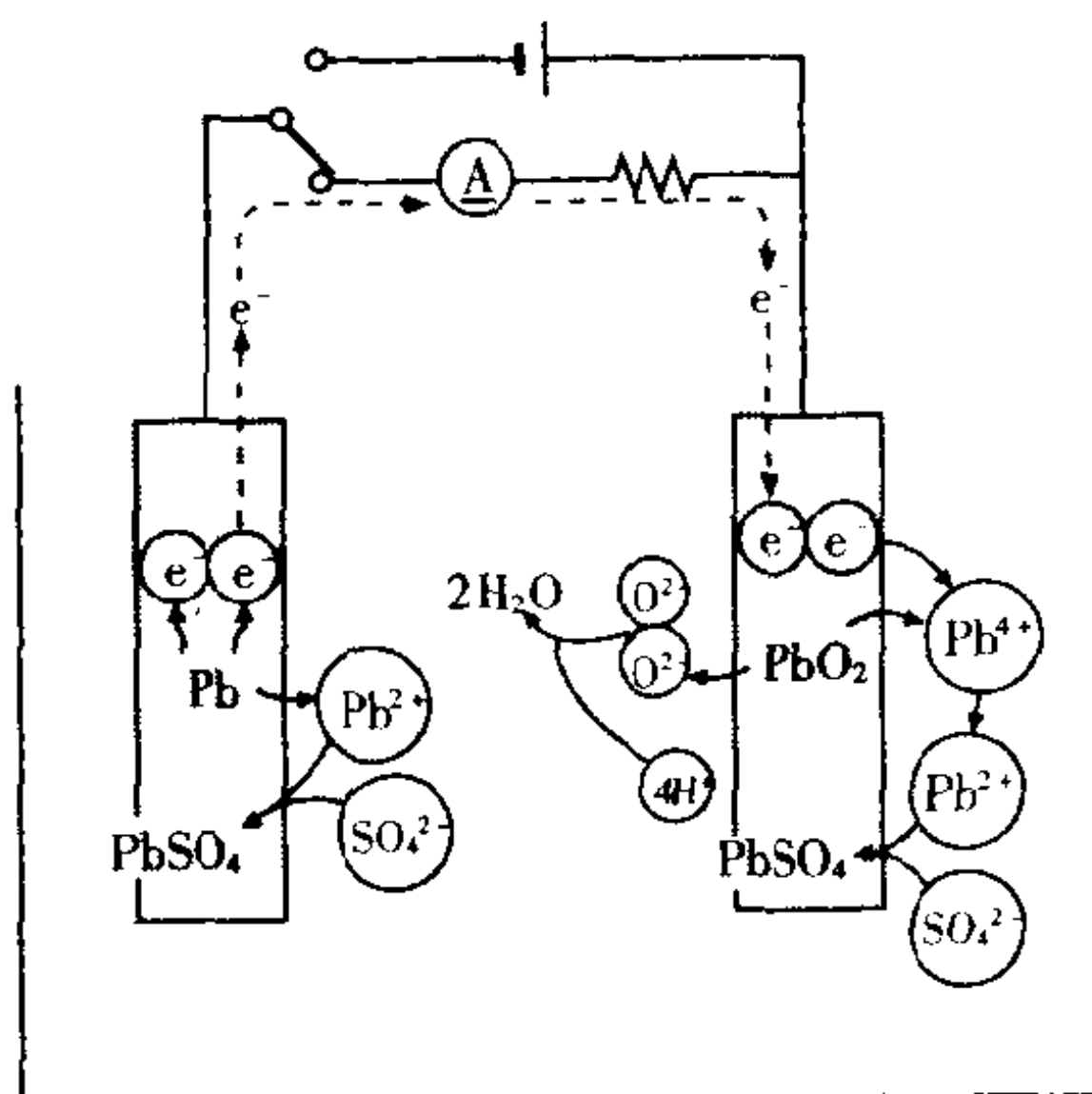


图 4.14 铅蓄电池的原理

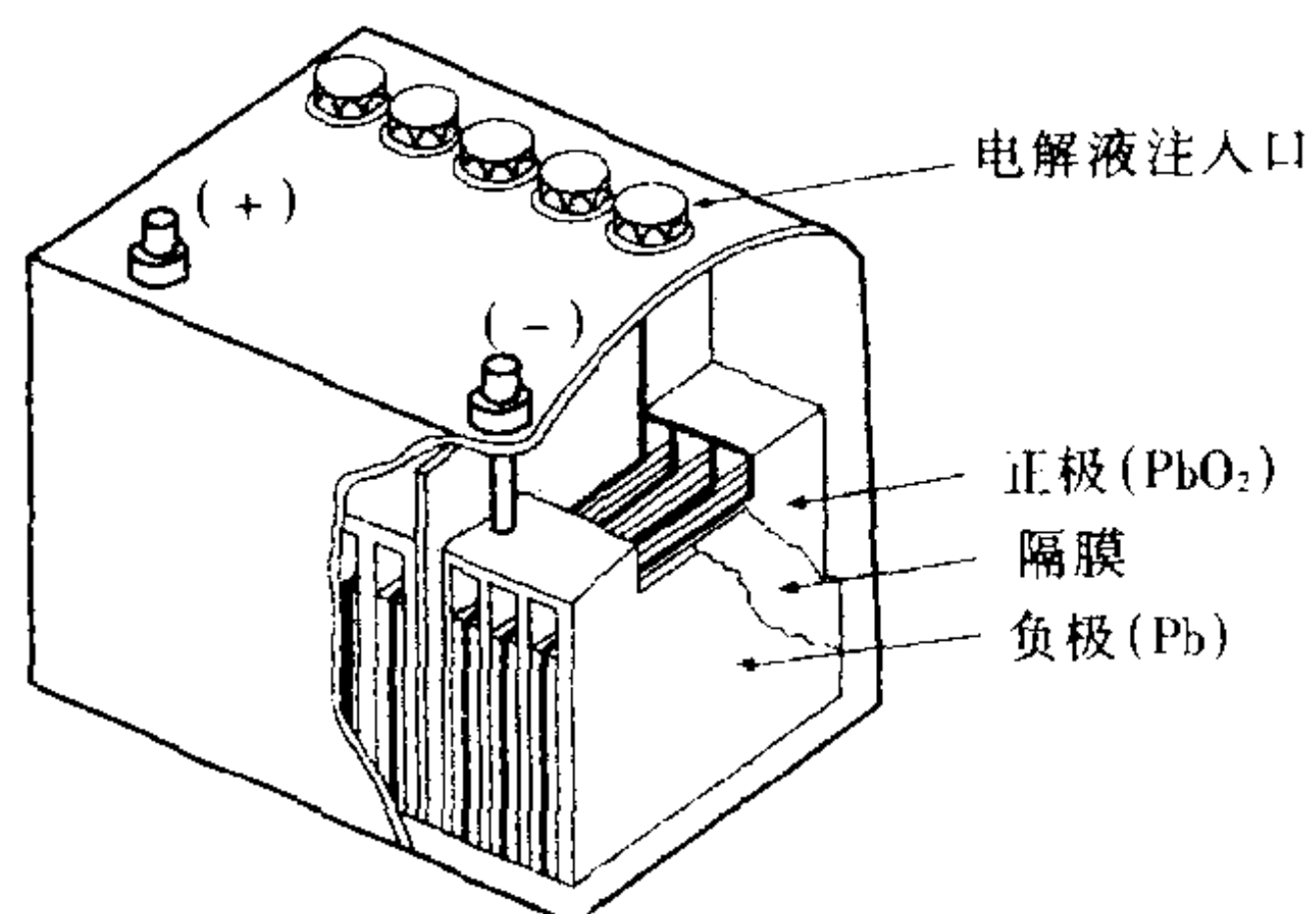


图 4.15 铅蓄电池的构造

4.3.1 二次电池

二次电池是能够充电、反复使用的电池。二次电池中有铅蓄电池及碱性蓄电池。

4.3.2 放电率及容量

放电率表示放电电流大小的比例,当以某一大小的恒定电流放电时,若能够放电 10h,则称其为 10h 放电率,根据这个量来表示蓄电池的容量[A·h](参见图 4.13)。

$$\text{容量}[\text{A} \cdot \text{h}] = \text{放电电流}[\text{A}] \times \text{放电率}[\text{h}]$$

铅蓄电池以 10h 放电率为标准,碱性蓄电池以 5h 放电率为标准。

4.3.3 铅蓄电池

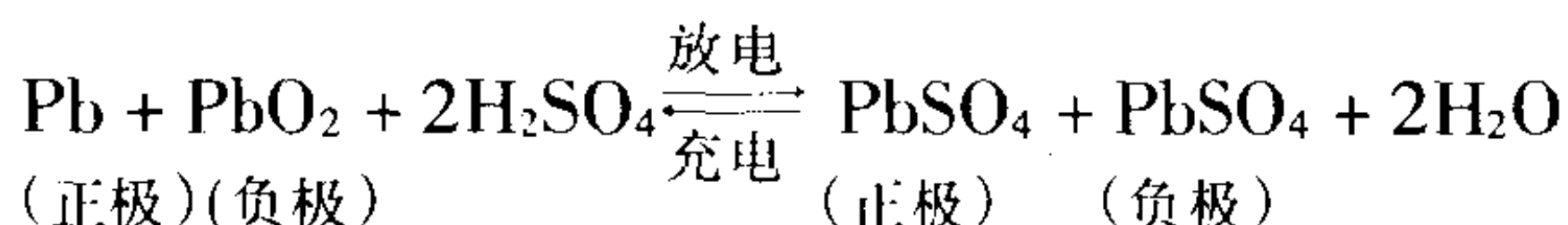
铅蓄电池是作为汽车及船舶等移动用或备用电源使用的最有代表性的蓄电池。如图 4.14 所示的构成,正极采用二氧化铅 PbO_2 ,负极采用 Pb ,电解液采用稀硫酸 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{aq}$ 。

放电时,由于下述的反应,在两极有电流流过。



充电时,上式的 \rightarrow 方向变成 \leftarrow 方向,回到原来状态。

归纳上面 2 式,则铅蓄电池的反应由下式表示



若进行放电,则在两极都产生不溶于水的硫酸铅(PbSO_4),极板呈白色。另外,还产生水(H_2O),电解液的比重下降。

若进行充电,则电解液中的水被电解,从正极产生氧气,从负极产生氢气。因此,必须加水以补充气体放出的部分。

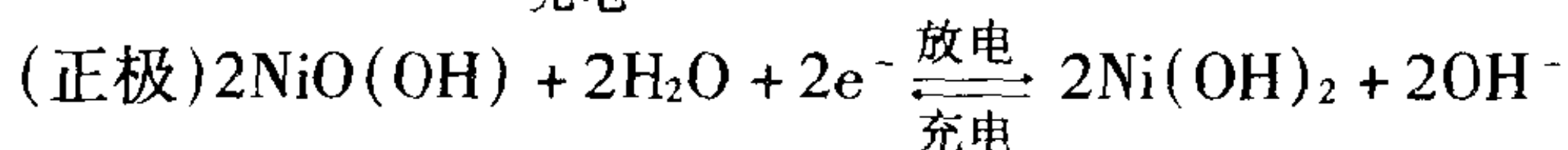
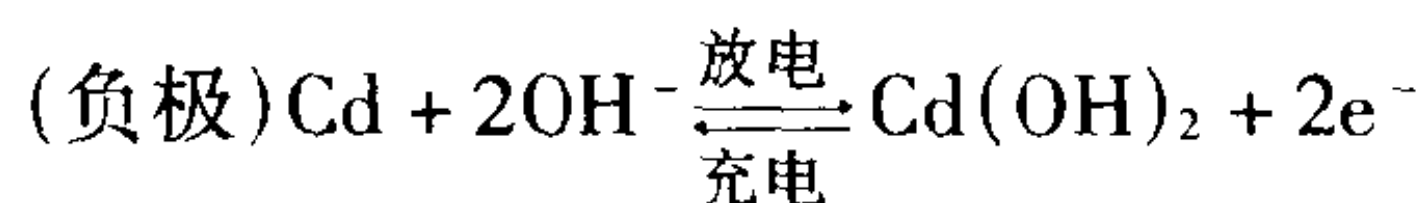
但是,最近已制造出解决该问题的免维护密闭型铅蓄电池。

铅蓄电池的电动势约为 2V,将若干个铅蓄电池排列起来,能得到高的电压。图 4.15 为汽车用 12V 铅蓄电池的构造。

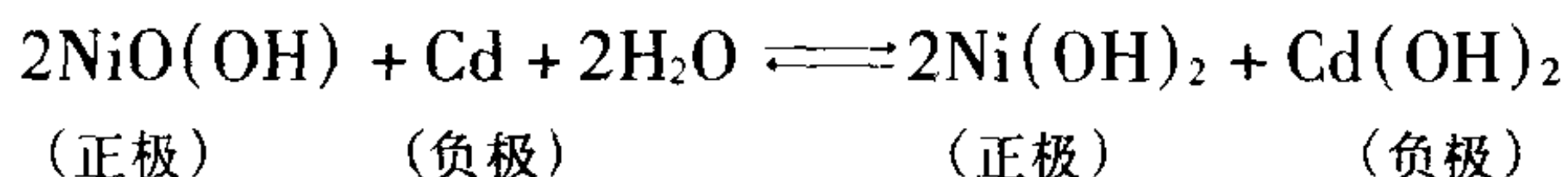
4.3.4 碱性蓄电池

碱性蓄电池是使用碱性电解液的蓄电池。代表性的碱性蓄电池有镍镉蓄电池。该蓄电池正极采用镍的氧化物, 负极采用镉, 电动势为 1.2V。

在镍镉蓄电池的两极产生下列的反应



整个蓄电池的反应是将上面 2 式相加, 成为



镍镉蓄电池在过充电时, 水被电解, 产生氧气及氢气。但是, 由于镉具有吸收氧气的作用, 因此通过使负极板的容量大于正极板, 在负极不产生氢气, 同时能够吸收正极的氧气。这样就能够将电池完全密闭。

该蓄电池的价格比铅蓄电池要高。但是, 由于电气及机械性能优越, 寿命长, 因此广泛用作坑内安全灯、电力机车动力源及各种备用电源等, 另外还可用作小型装置如移动电话、电动剃须刀及 AV 机器等的电源。图 4.16 为密闭型镍镉蓄电池的构造。

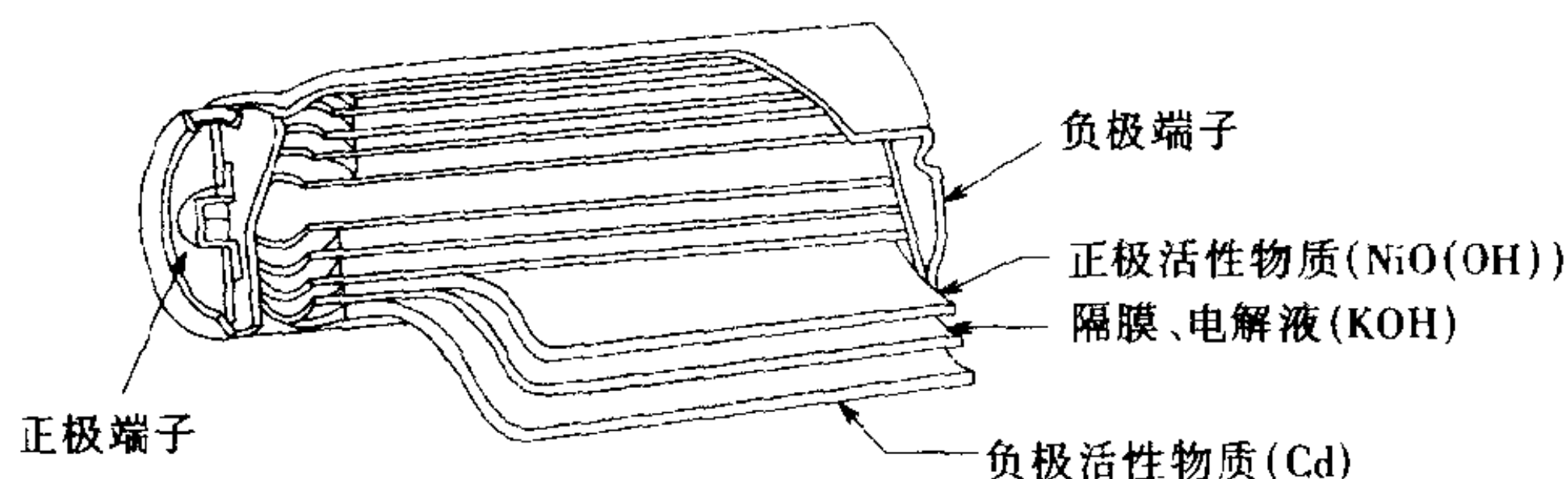


图 4.16 密闭型镍镉蓄电池的构造

4.4 燃料电池及太阳能电池

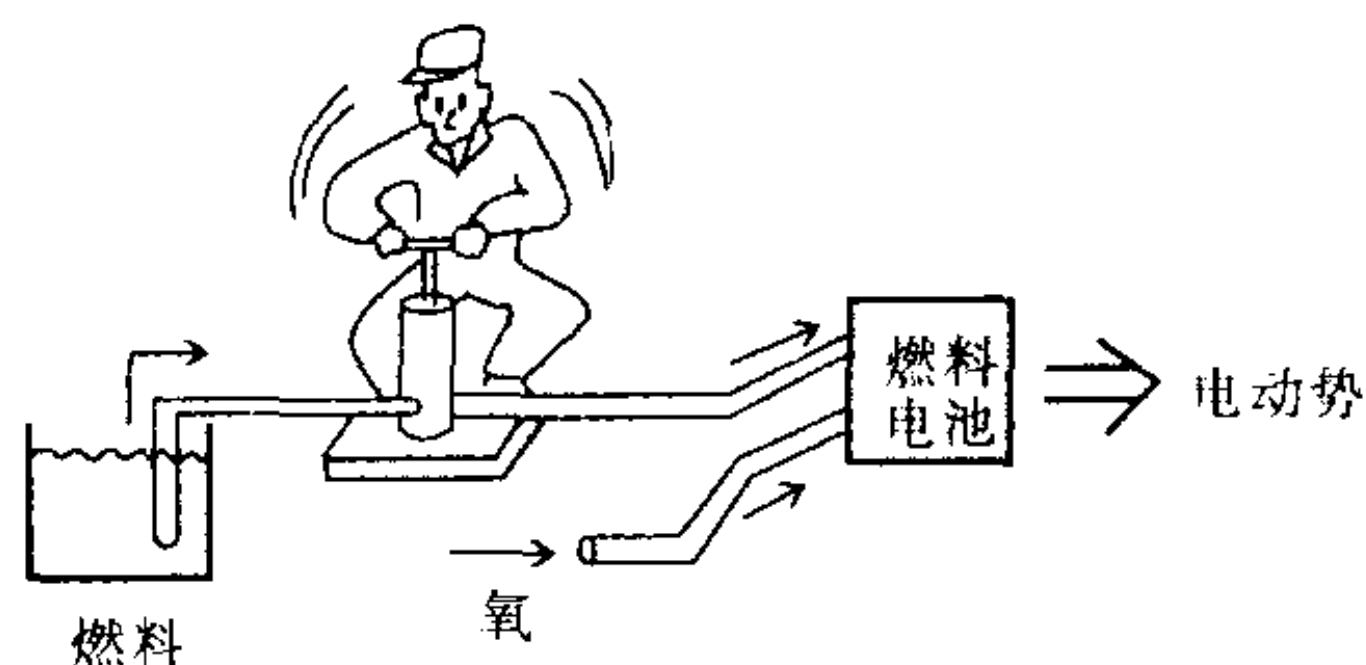


图 4.17 燃料电池

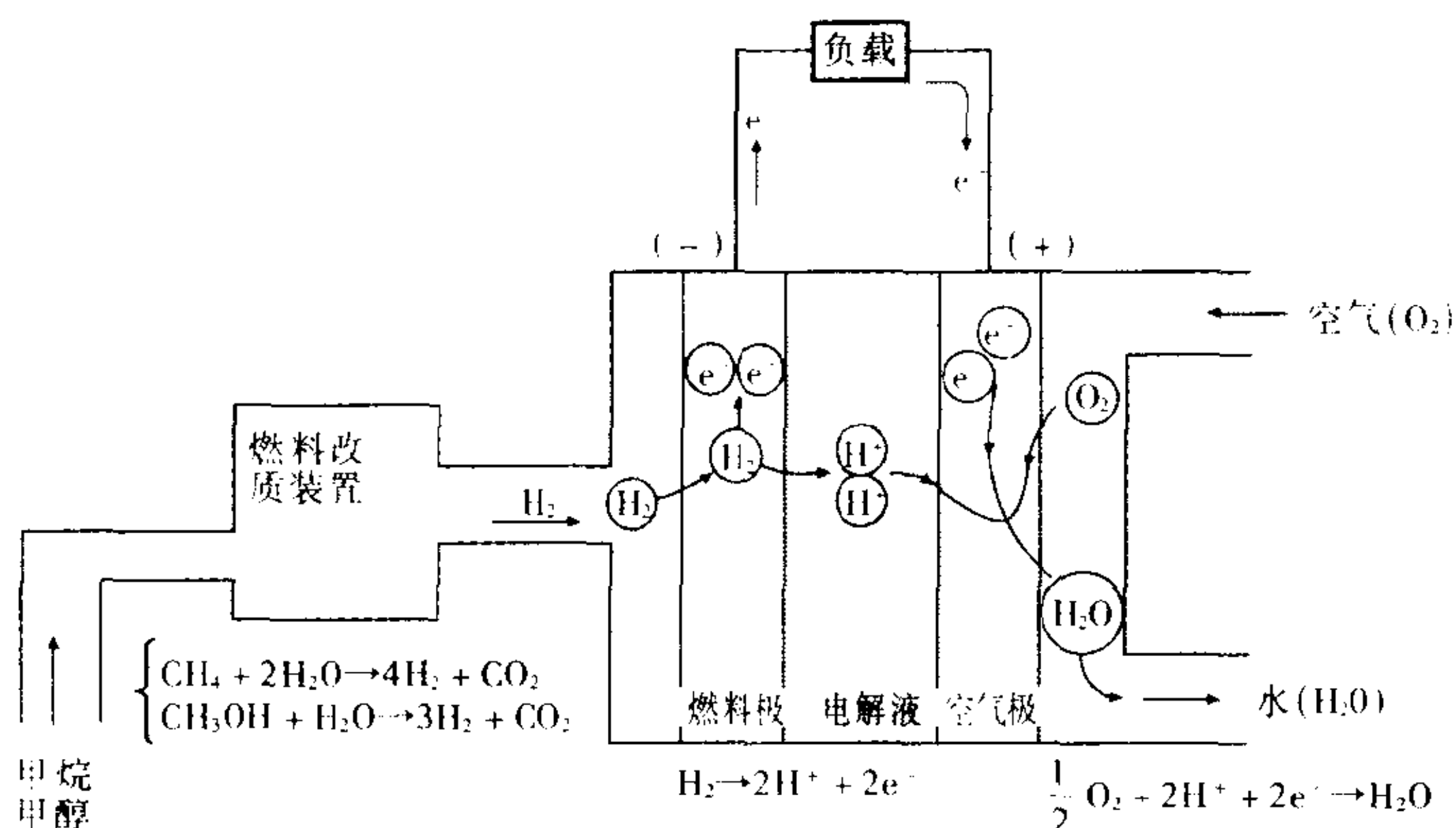


图 4.18 天然气改质的氢氧燃料电池的原理

4.4.1 燃料电池

燃料电池是通过使燃料与氧反应而直接将化学能作为电能取出的电池(参见图 4.17)。

若让水中流过电流,则利用电解产生氢及氧。图 4.18 所示为天然气改质的氢氧燃料电池的发电原理,它是通过与电解完全相反的反应得到电能的。

天然气利用燃料改质器进行加热改质成为氢气,将它作为燃料,将空气中的氧作为氧化剂;从而得到电动势。

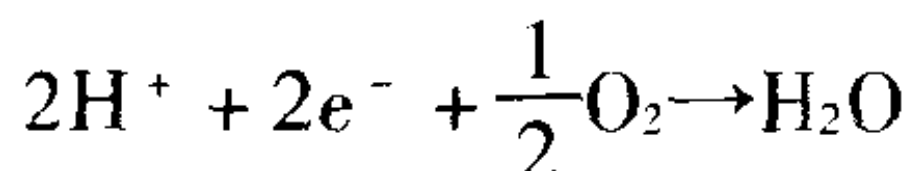
电解液用浓磷酸溶液,防止改质氢中或空气中存在的二氧化

碳污染电极。

电极由多孔金属构成。在负极,氢气通过电极内的细孔分解成氢离子及电子。



氢离子在电解液中向正极移动,电子通过外部回路向正极移动。在正极,氢离子及电子利用送入的氧产生下列的反应



该燃料电池由于使氢和氧进行了这样的反应,故在其两极间得到约 1V 的电动势。

燃料电池有相应的温度条件,上述燃料电池为在 120℃ 下工作的中温燃料电池(100 ~ 300℃)。另外有常温燃料电池(室温 ~ 100℃)及高温燃料电池(300℃ 以上)。燃料电池通过提高温度,能够提高电极产生的反应速度,减少电解质的电阻,得到大功率及高能量密度。

燃料电池通过连续从外部供给化学能,能够连续放电,比其他发电方式的热效率要高。另外,由于是无公害的发电系统,因此能够选址在靠近电力消费地的地方。现在用于偏僻地方的通信电源及宇宙飞船用电源等。另外,超出以往的电池概念,人们正在探讨其作为商用电力发电使用。

4.4.2 太阳能电池

如图 4.19(a)所示,在半导体结的两端接上负载电阻,当光照射结部分时,由于光电效应,则产生电动势。太阳能电池是利用光电效应直接取出太阳能作为电能的电池。

图 4.19(b)为硅太阳能电池的构造。在 n 型半导体的表面形成 p 型半导体,将光照射该表面,就产生电动势。形成的 p 型层很薄,1 ~ 3 μm 左右,使光很容易到达结附近。产生的电压约 0.5V,电流大小与光线强弱及太阳能电池的面积成正比。

太阳能电池的形状为薄的圆形或长方形,用若干个太阳能电池形成组件,再将组件排列起来,则形成太阳能电池板,能得到更

大的电动势(参见图 4. 20)。

太阳能电池从太阳能变换的效率为 10% 左右, 但是若想要有效利用照射到地球上的免费的太阳能, 则要研究其利用方法。现在, 用作电子计算器等小功率装置、人造卫星、灯塔及无线电中继台等的电源使用。

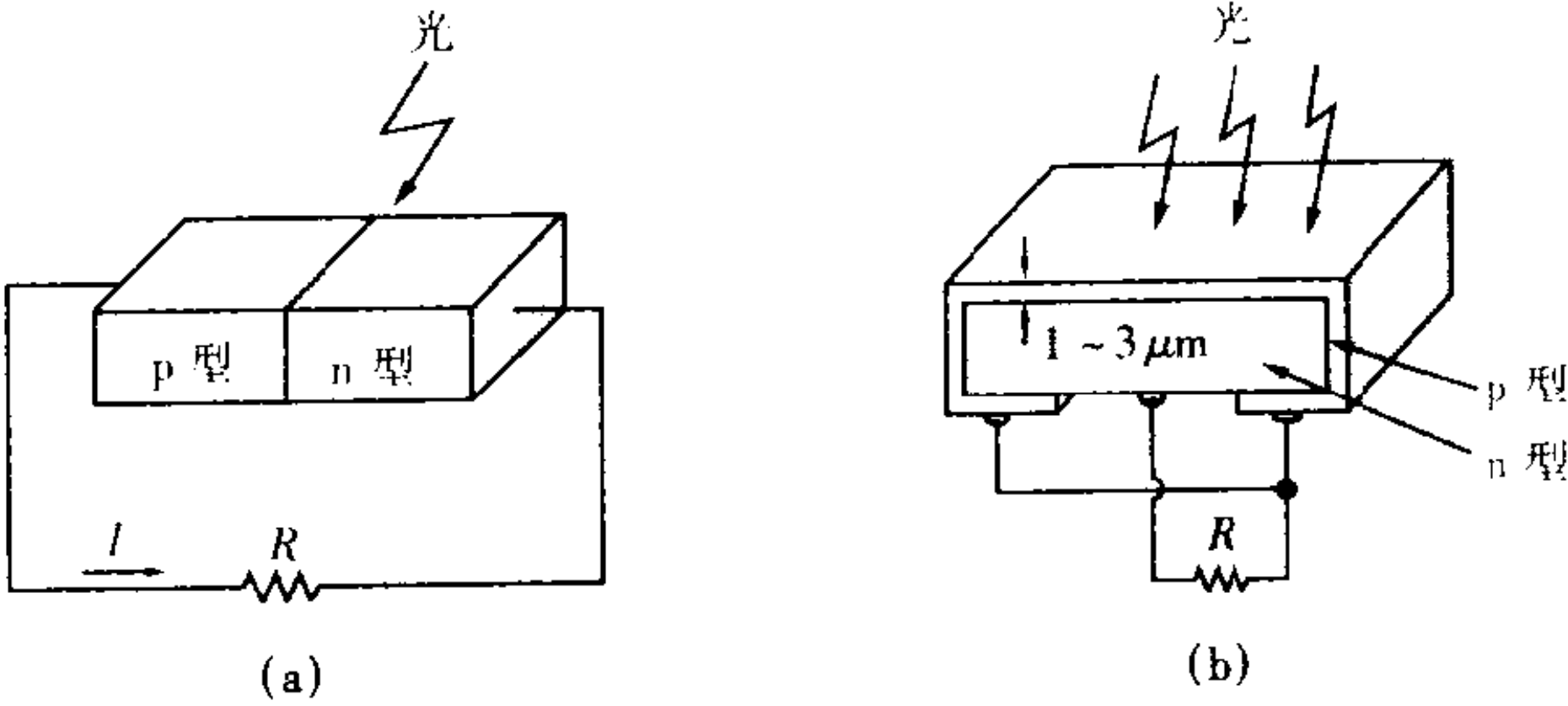


图 4. 19 太阳能电池的构造

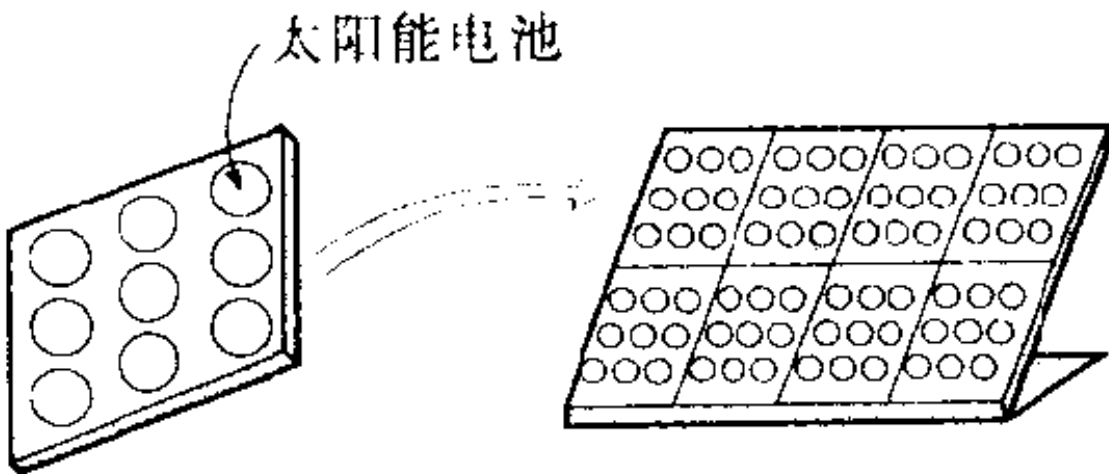


图 4. 20 太阳能电池组件

4.5 电解化学

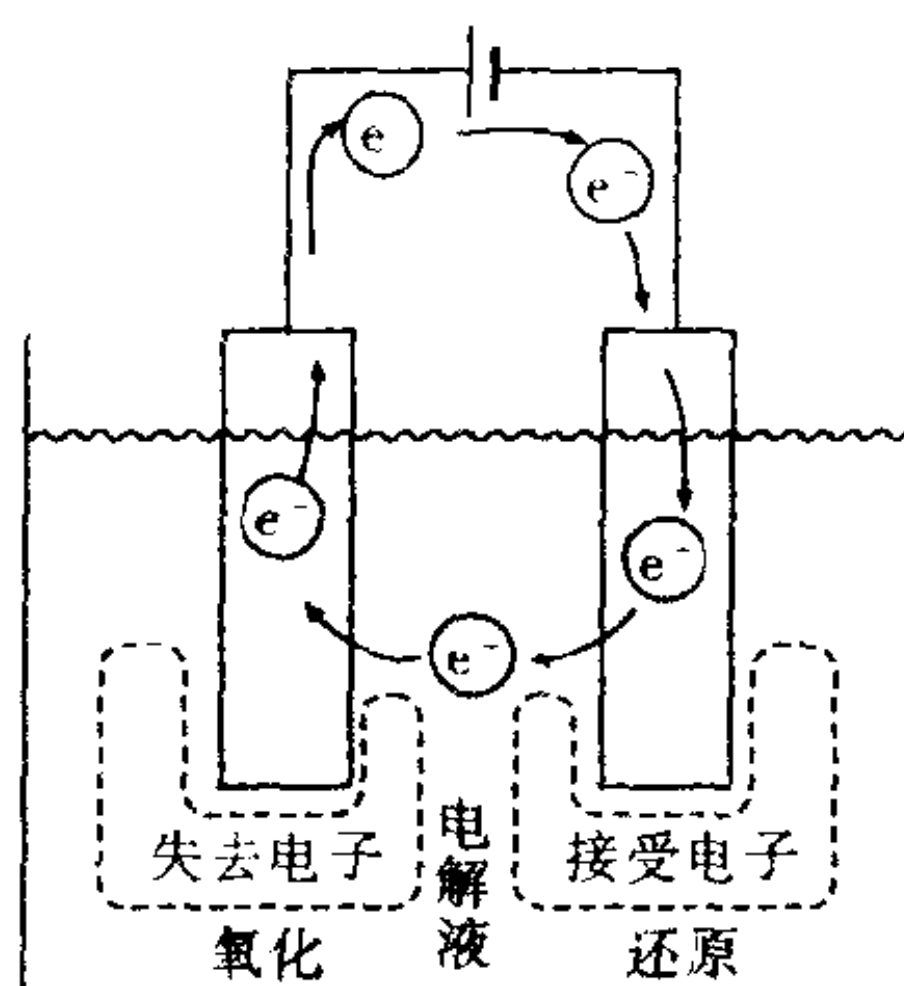


图 4.21 电解

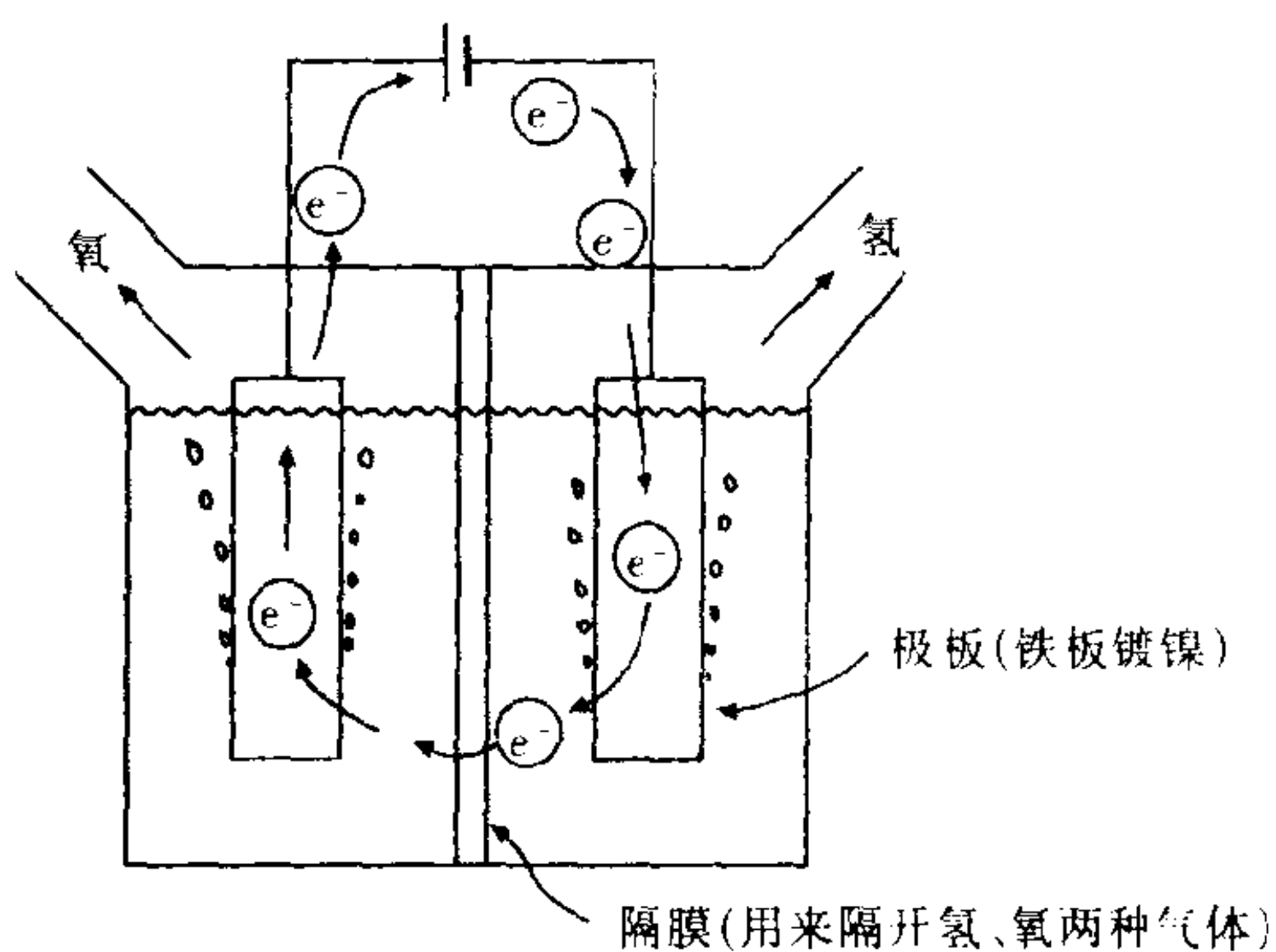


图 4.22 水的电解

4.5.1 电解化学

所谓氧化 - 还原就是电子的相互交换 (参见图 4.1), 但电子不一定必须从其他物质供给。从外部使电流流过电解质水溶液进行氧化还原反应的过程叫做**电解**(参见图 4.21)。

电解化学是应用这一电解原理的化学。

4.5.3 金属的电解精炼

利用电解进行金属精炼的方法叫做**电解精炼**。图 4.24 为铜的电解精炼。在日本,主要的铜矿石为黄铜矿(CuFeS_2)。黄铜矿中加入石灰石及焦炭,在高炉中加热,则产生硫化铜(Cu_2S)

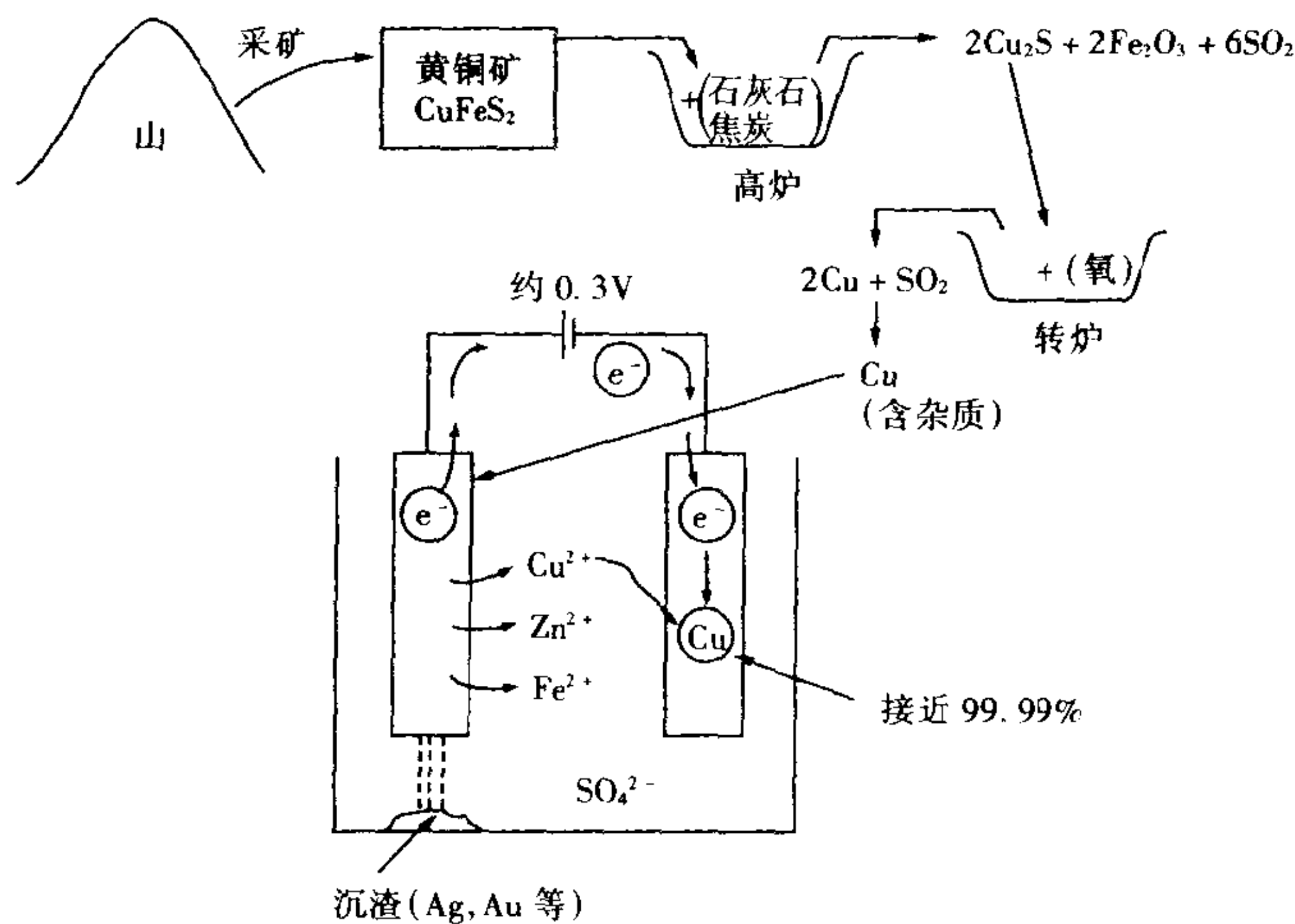
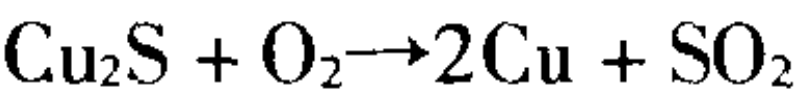


图 4.24 铜的电解精炼

将硫化铜放入转炉,加入氧气,则产生粗铜



该粗铜由于还含有杂质(包括金、银等贵金属),因此利用电解进行精炼。

电解精炼是在硫酸铜水溶液中将粗铜作为阳极、将纯铜作为阴极进行的。粗铜中的铜及其他杂质如铁或锌溶解于水溶液中,比铜的电离趋势小的金、银则不形成离子,成泥渣状沉淀在阳极下。在阴极,溶解的离子中电离趋势最小的 Cu^{2+} 与电子结合,结果附着的仅仅是铜。

铜的电解精炼是以析出纯铜及回收贵金属等杂质为目的。从阳极下残留的沉渣制成粗银,再利用电解精炼析出纯银。另外,从

银的电解精炼的沉渣制成粗金,再利用电解精炼析出纯金。

电解精炼除铜以外,还可用于金、银、镍、铅、锡等,能得到99.98%以上的纯度。

4.5.4 熔盐电解

钠、镁、铝、钙等电离趋势大的金属很难利用含 H^+ 的水溶液进行电解得到。另外,由于处于固体状态,电流难以流动,不能进行电解(参见图 4.25)。

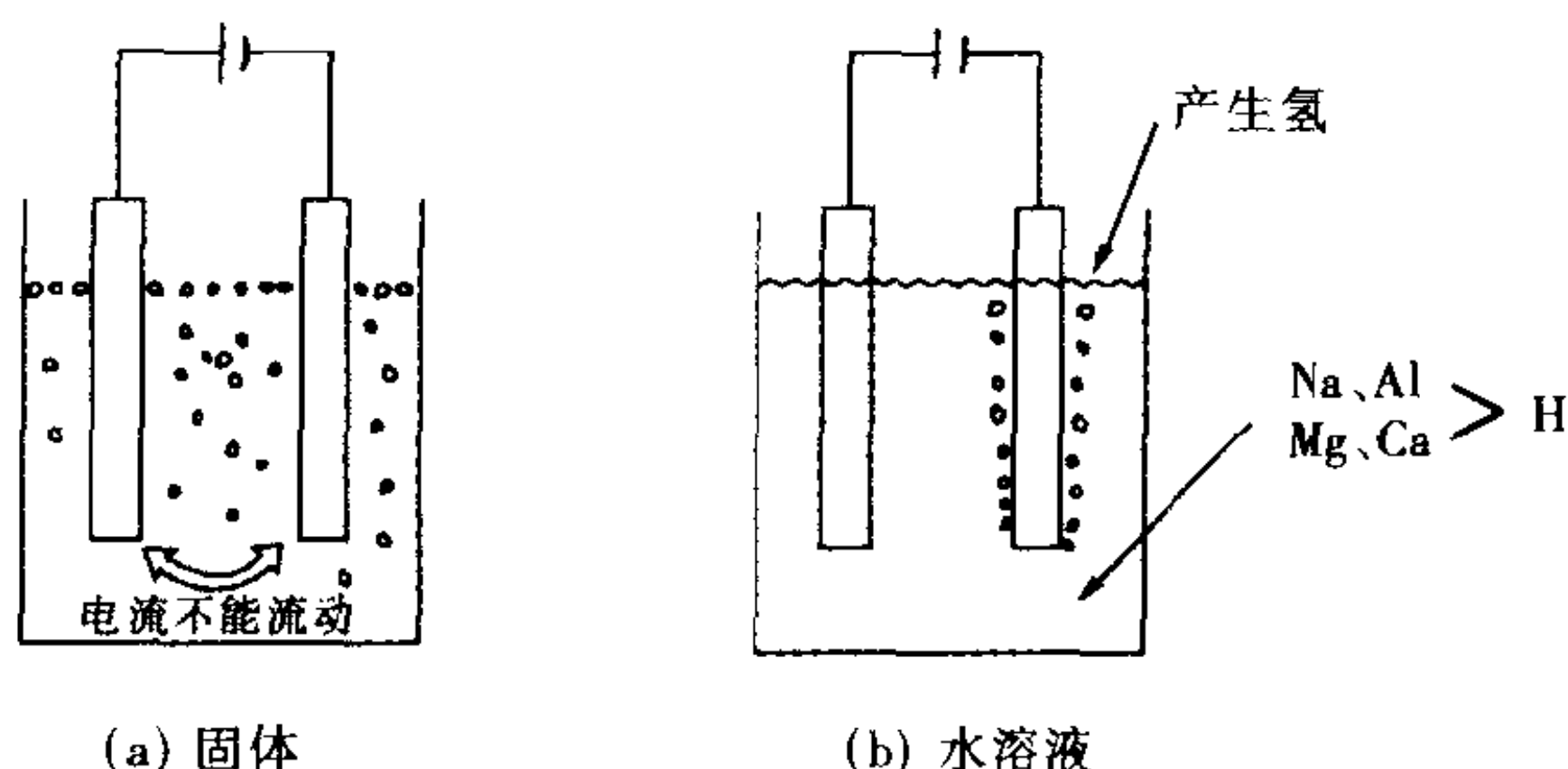
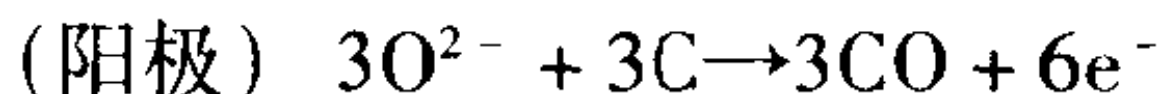
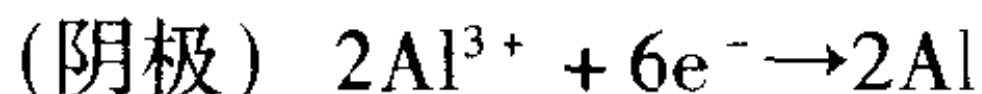


图 4.25 电离趋势比氢大的金属的电解

将固体电解质加热熔解后生成的液态物叫做熔融盐。将电离趋势大的金属在不含 H^+ 的熔融盐状态下进行电解,这一方法叫做熔盐电解,图 4.26 为铝的熔盐电解。铝是以铝土矿矿石制造的氧化铝(Al_2O_3)为原料。氧化铝由于熔点高至 $2000^{\circ}C$,因此为了降低熔点,与冰晶石(Na_3AlF_6)混合,在 $1000^{\circ}C$ 熔解,引起下面的反应



在该状态下进行电解,则两极引起下面的反应:



在阴极产生铝,在阳极,氧与阳极的碳进行反应,产生一氧化碳。阳极的碳由于与氧进行反应而不断消耗,因此必须不断补充。

在阴极上生成液体的铝,每隔一定时间取出。用该方法能得

到 99.8% 左右的铝，但由于其比水溶液的电解需要大量的电能，因此铝厂是用电大户。

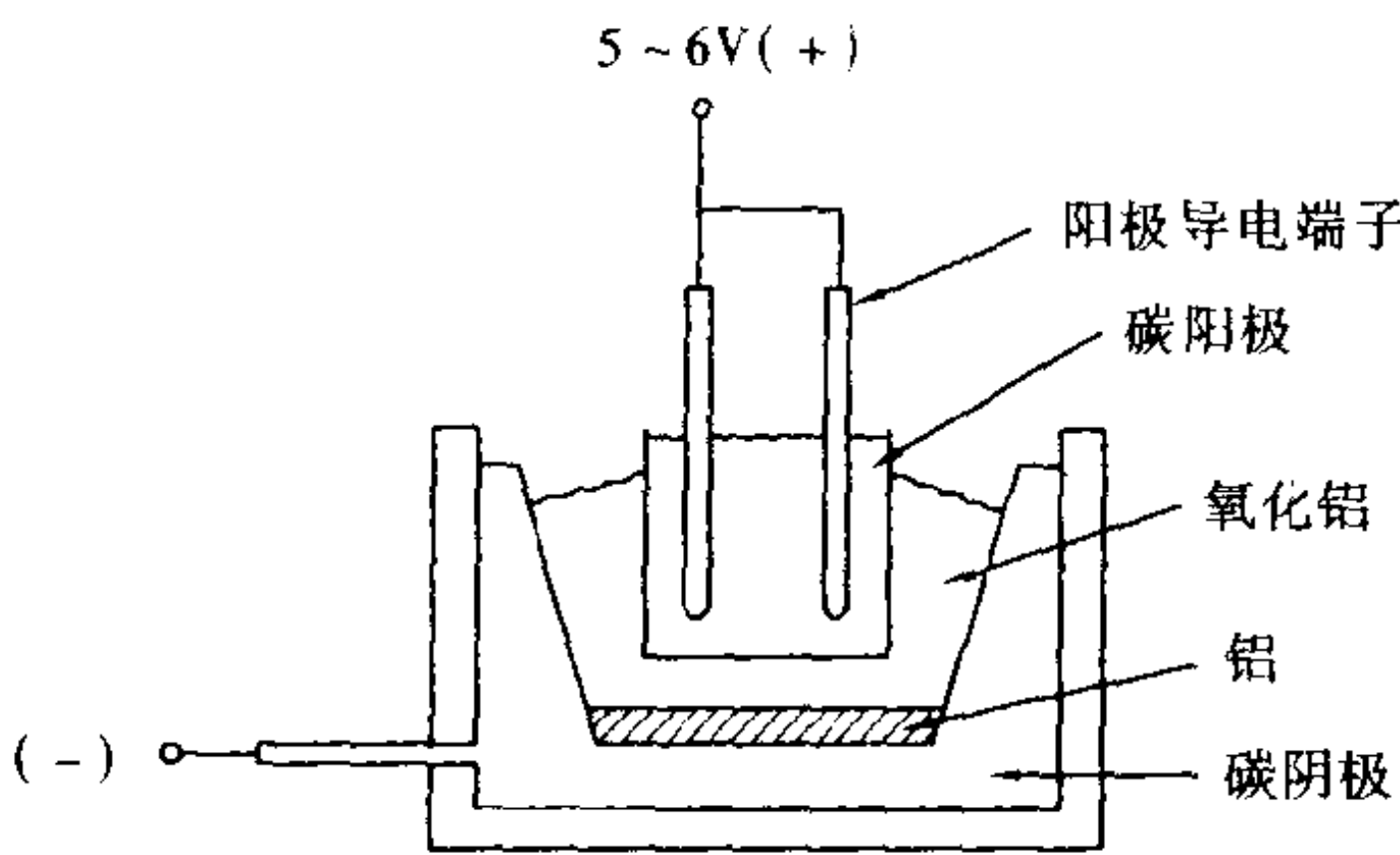


图 4.26 铝的熔盐电解

4.6

电镀、电铸及电解研磨



图 4.27 电镀的目的

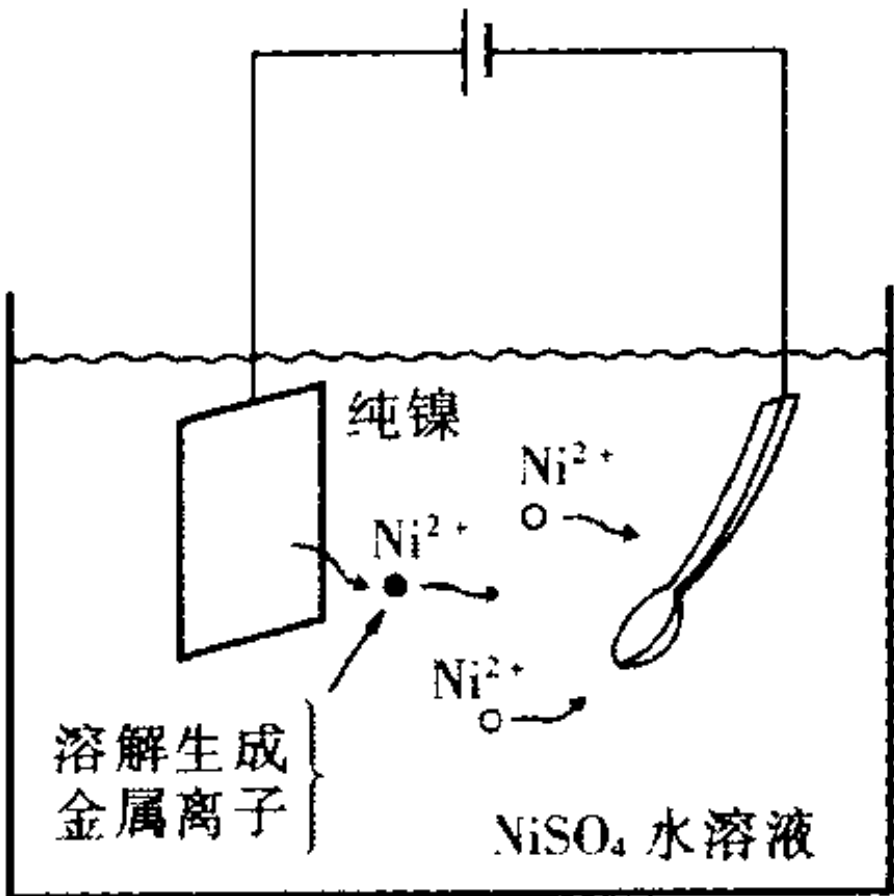


图 4.28 镀镍

表 4.4 镀液的组成及条件

种类	镀液组成[g/l]		电流密度[A/m ²] 温度[℃]
镀金	金 Au	2	10 ~ 50A/m ² 60 ~ 70℃
	氰化钾 KCN	15	
	磷酸钠 NaH ₂ PO ₃	4 ~ 8	
镀银	氰化银 AgCN	36	30 ~ 150A/m ² 20 ~ 30℃
	氰化钾 KCN	60	
	碳酸钾 K ₂ CO ₃	45	
镀铜	硫酸铜 CuSO ₄	150 ~ 250	50 ~ 150A/m ² 20 ~ 35℃
	硫酸 H ₂ SO ₄	45 ~ 110	
镀铬	氧化铬 CrO ₃	250	1500 ~ 3000A/m ² 40 ~ 50℃
	硫酸 H ₂ SO ₄	2.5	
镀镉	氧化镉 CdO	30	50 ~ 150A/m ² 20 ~ 35℃
	氰化钠 NaCN	98	
	镉 Cd	26.2	
镀镍	硫酸镍 NiSO ₄	150	100A/m ² 20 ~ 25℃
	氯化铵 NH ₄ Cl	15	
	硼酸 H ₃ BO ₃	15	

4.6.1 电镀

在某一金属的表面生成别的金属薄膜叫做**电镀**。电镀的目的是进行金属表面装饰及具有耐腐蚀、耐磨损性能的表面处理（参见图 4.27）。

电镀是将想要镀的金属作为阳极，将被镀的金属作为阴极，在含有想要镀的金属离子的水溶液中进行电解，在阴极使金属析出。图 4.28 为镀镍的情况。另外，电镀还有金、银、铜、铬、镉等，其电解液的组成示于表 4.4。

镀金及镀银用于装饰及电气触点等。镀铜用来作为金属的基体镀层和镀 Ni - Cu - Ni 的中间镀层等，还用于电铸。镀镍用来作为钢铁、黄铜、锌等的装饰及耐腐蚀用，另外还作为镀铬的前道工序使用。镀铬的耐磨损及耐腐蚀性能很好，利用其在大气中不失去光泽的性质，还可用于装饰等场合。

4.6.2 电铸

利用电镀复制原形叫做电铸，比电镀的镀层要厚。

图 4.29 为电铸的原理。当原形为金属制材料的情况下，就其上进行电铸。而当使用由粘土、石膏、蜡或塑料等可塑性物质制作的铸模的情况下，为了使其具有导电性，在涂布石墨粉或铜粉后进行电镀。电镀采用镀铜或镀镍。

电铸结束后，必须要将镀的金属从铸模上取下，因此在镀前的铸模表面上预先生成氧化物薄膜，以便于取下。

电铸能够精确地复制原形的凹凸，可用于唱片的母盘制作、雕刻工艺品的复制、根据皮革等天然花纹制作压辊等。

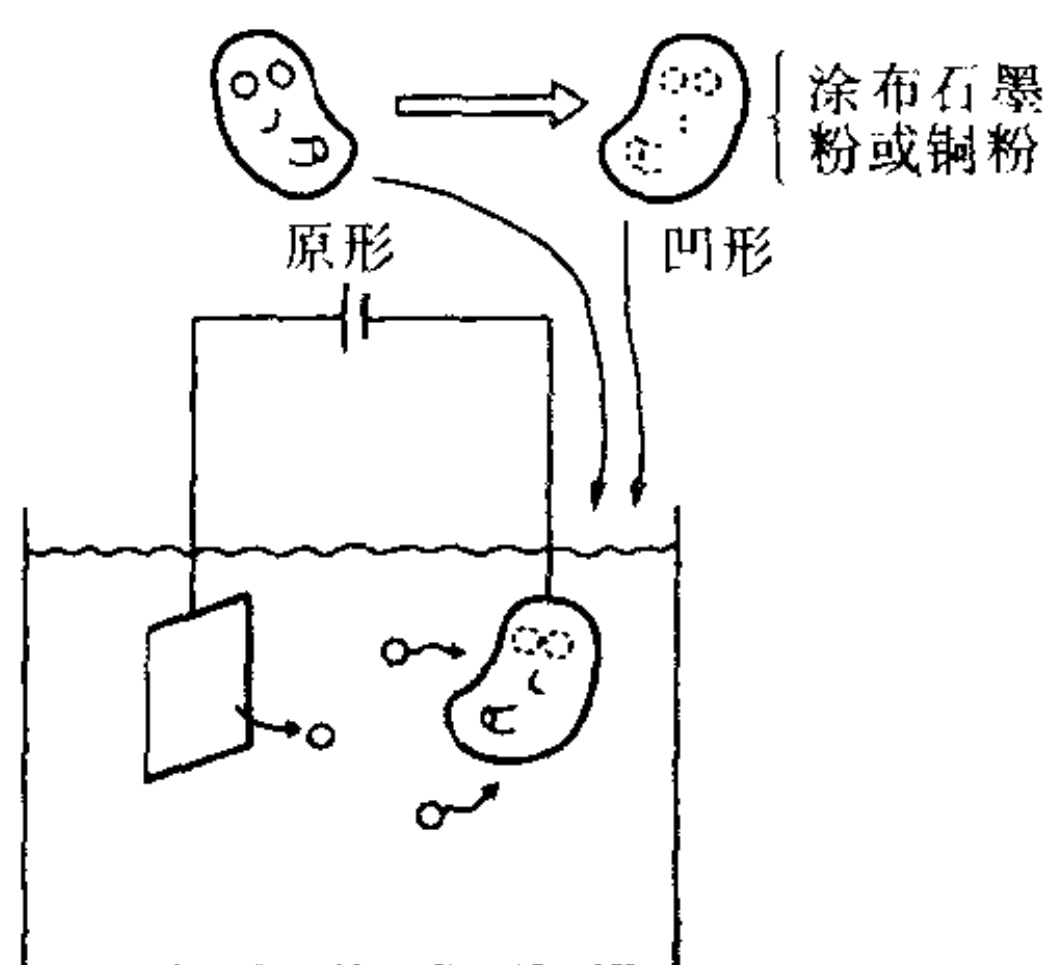


图 4.29 电铸

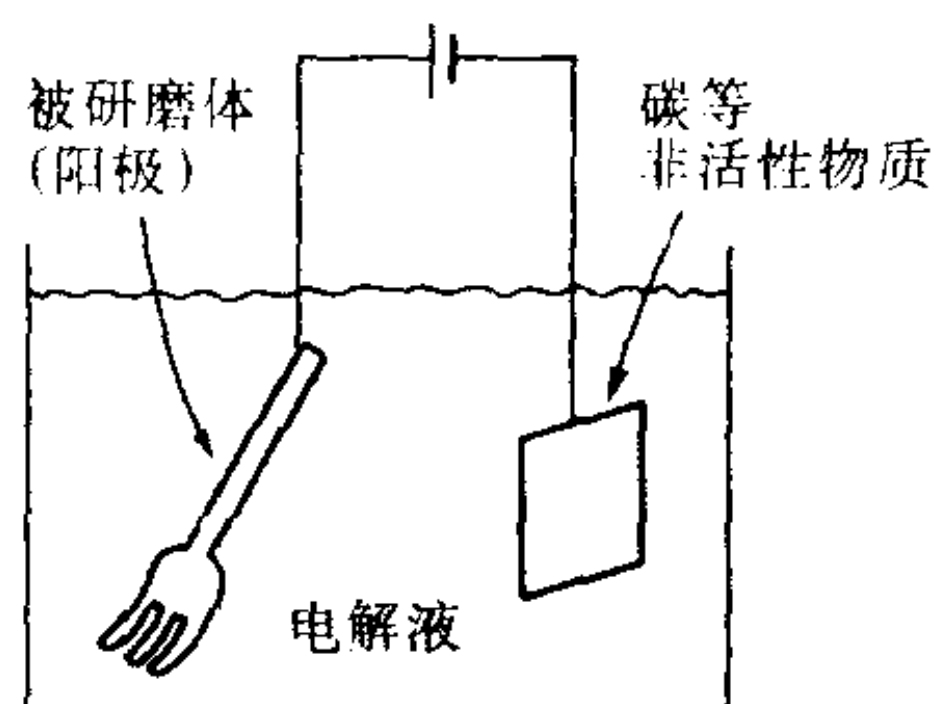


图 4.30 电解研磨

4.6.3 电解研磨

若将想要研磨的金属作为阳极进行电解,则能够使金属的凹凸表面平滑。把这叫做电解研磨(参见图 4.30)。

电解研磨能够在适当的电解液中以比较短的时间完成研磨,使表面光泽,耐腐蚀性提高。其可用于注射针头内表面等形状上难以进行机械研磨的物品以及匙、叉等西餐餐具及精密机械零件等,若与机械研磨一起使用,则能得到更好的研磨效果。

4.7 电热化学

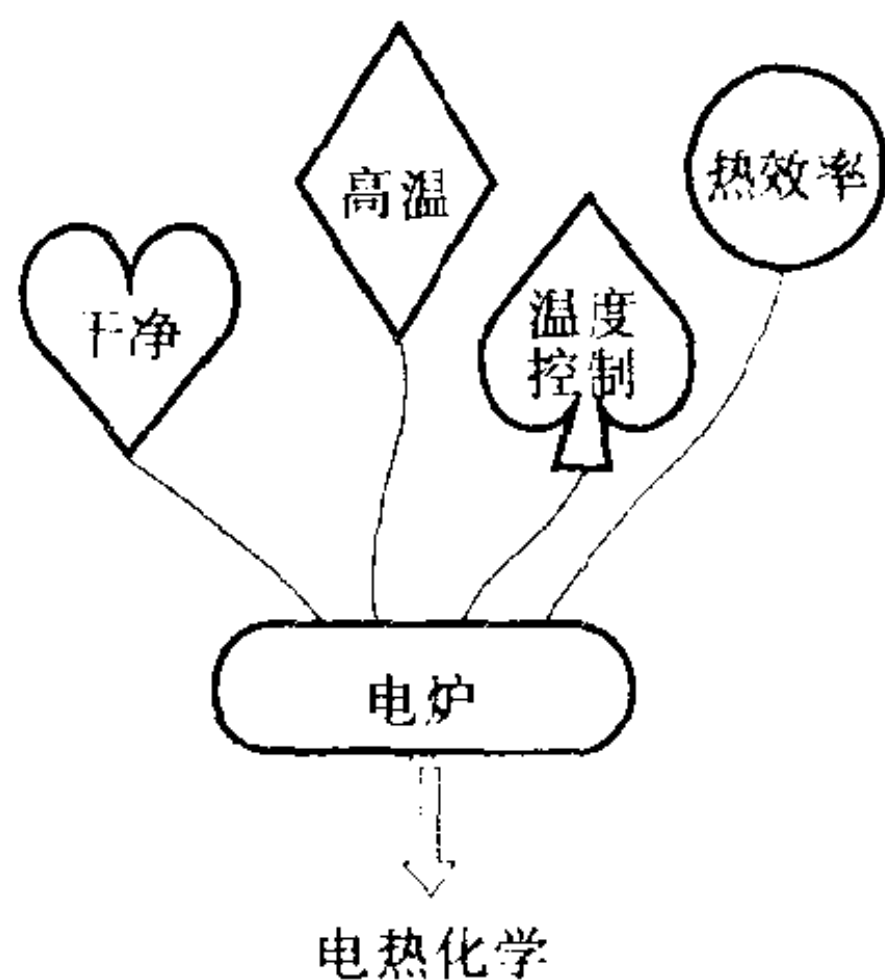


图 4.31 电炉的优点

4.7.1 电热化学

将电能转变为热能叫做电热，利用电热的化学叫做电热化学。若在化学工业产品的生产中利用电炉，则与其他燃烧炉相比，有下列的优点(参见图 4.31)：

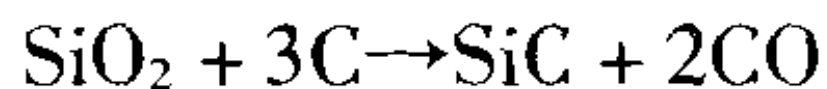
- ① 由于是干净的热源，因此能够防止混入杂质。
- ② 产生的温度范围大。
- ③ 能够进行高精度的温度控制。
- ④ 热效率高。

关于电炉可参见第Ⅱ章电热部分。

4.7.2 碳化硅的制造

碳化硅极硬，可用来作为好的研磨材料。图 4.32 为碳化硅炉。炉心为石墨电阻，其周围放置二氧化硅原料(SiO_2)与焦炭(C)的混合物。

当流过电流，加热至 $1800 \sim 1900^\circ\text{C}$ 时，则产生下面的反应



在靠近炉心的地方，产生碳化硅(SiC)的结晶，每吨的电量为 $7500 \sim 1500\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

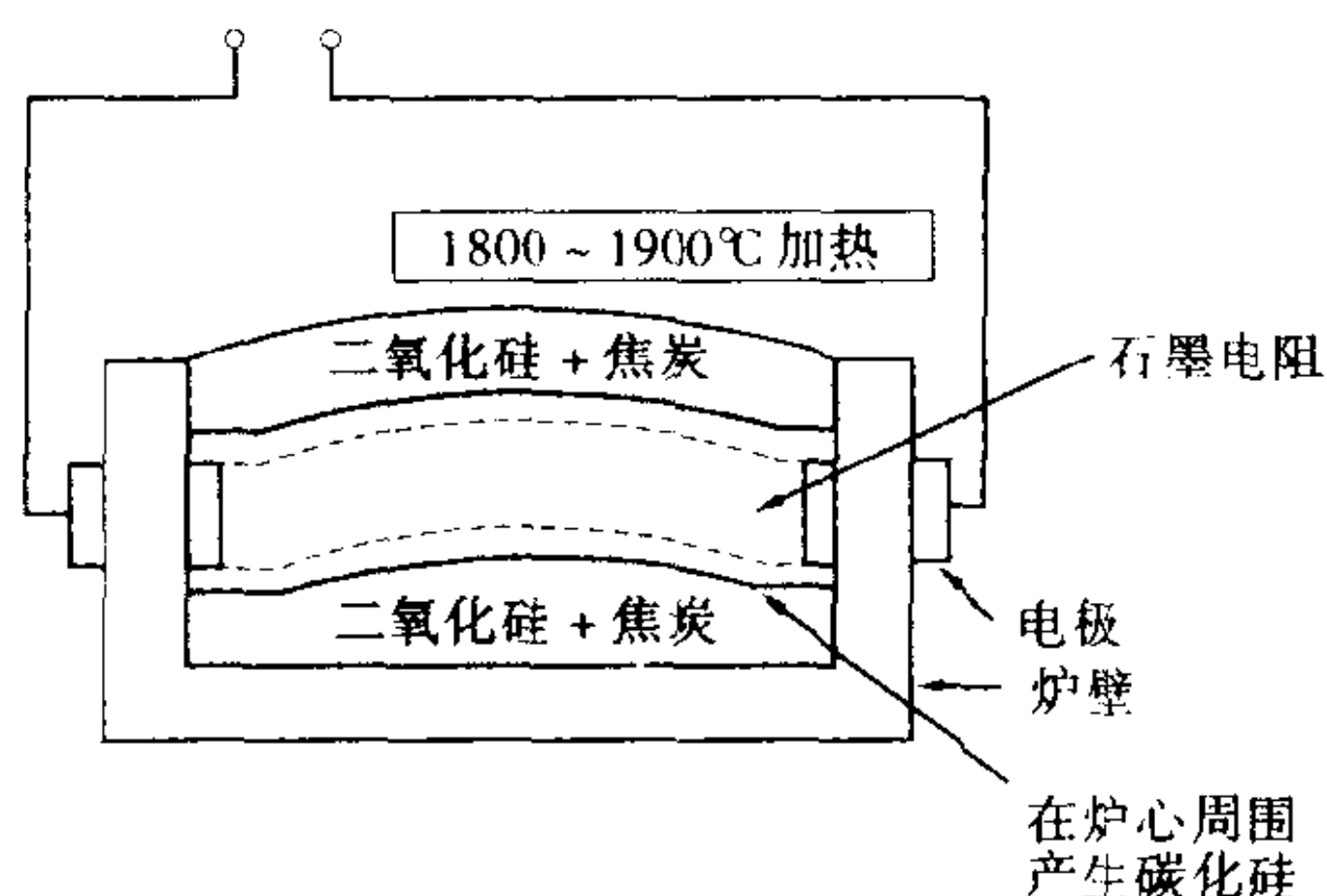


图 4.32 碳化硅炉

4.7.3 石墨的制造

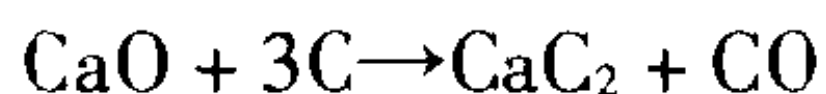
将焦炭等碳物质材料高温加热，则焦炭变成结晶石墨形状，制成人造石墨。人造石墨比天然石墨纯度高、导电性好。

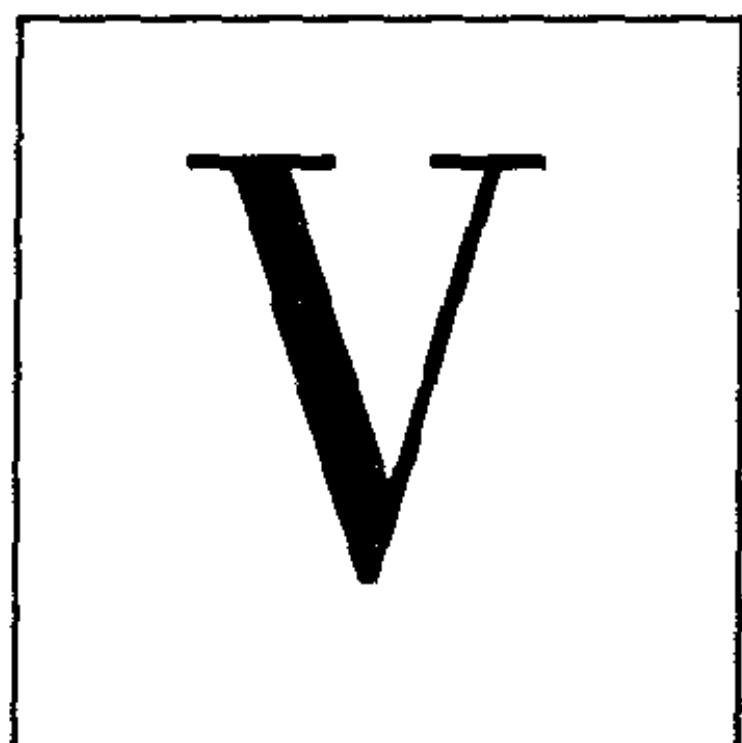
石墨制造采用直接式电阻炉(参见 2.2.2 小节)，将碳与焦炭加热至 3000℃ 左右，就得到石墨结晶。

4.7.4 碳化钙的制造

碳化钙的主要用途是作为有机合成化学工业的原料。

碳化钙的制造使用三相交流埃鲁电炉(参见 2.3.2 小节)。将生石灰与焦炭加热至 2000℃ 左右，利用下面的反应生成碳化钙(CaC_2)





电气铁道

首先，对铁道发生兴趣才有助于理解电气铁道的全貌。因此，在进入专业性的电气铁道说明之前，先介绍铁道的历史，然后进一步对作为铁道基础的线路介绍一些基础知识，在这之后，再进入正题。日本铁道的进步过程大致分为下列三个时代：

- (1) 蒸汽机车牵引时代；
- (2) 直流电气化时代；
- (3) 交流电气化及新干线和完善新干线的时代。

再加以补充的是超导磁悬浮铁道建设时代。另外，在直线电动机磁悬浮出现之前，在大阪已经有直线电动机驱动铁道，而且在 1991 年开始运营的都营地铁 12 号线也采用该方式的铁道。希望读者在看到这样的惊人进步的同时，学习有关的基础知识。

5.1 日本铁道的进展

1872 年 10 月 14 日：新桥—横滨间全线开通，迈出了日本铁道建设的第一步。背景资料：不受理外国资本提出的敷设申请，由日本政府的力量进行建设。

1889 年 7 月 1 日：东海道线的新桥—神户间全线开通，成为日本干线铁道建设的起点。

1895 年 1 月 31 日：京都电气铁道开始运营，成为日本最初的电气铁道（京都市电）。

1904 年 8 月 21 日：甲武铁道（现中央线）的饭田町—中野间开始蒸汽机车与电车并用运行，同时开始使用日本最初的自动信号机。

1927 年 12 月 30 日：东京地铁的上野—浅草间开始运营（现营团地铁），是标准轨距为 1435mm、受电采用第 3 轨方式的地铁。

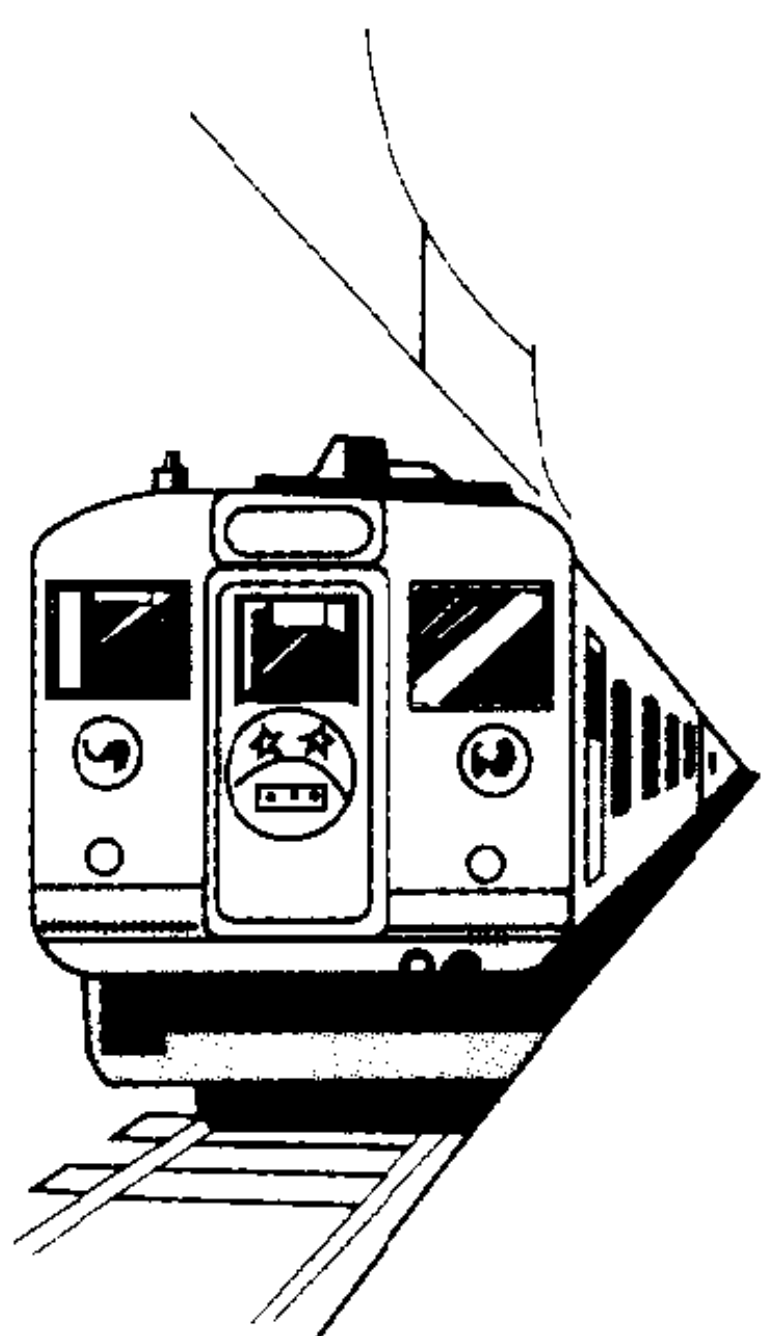


图 5.1 直流电气化的时代

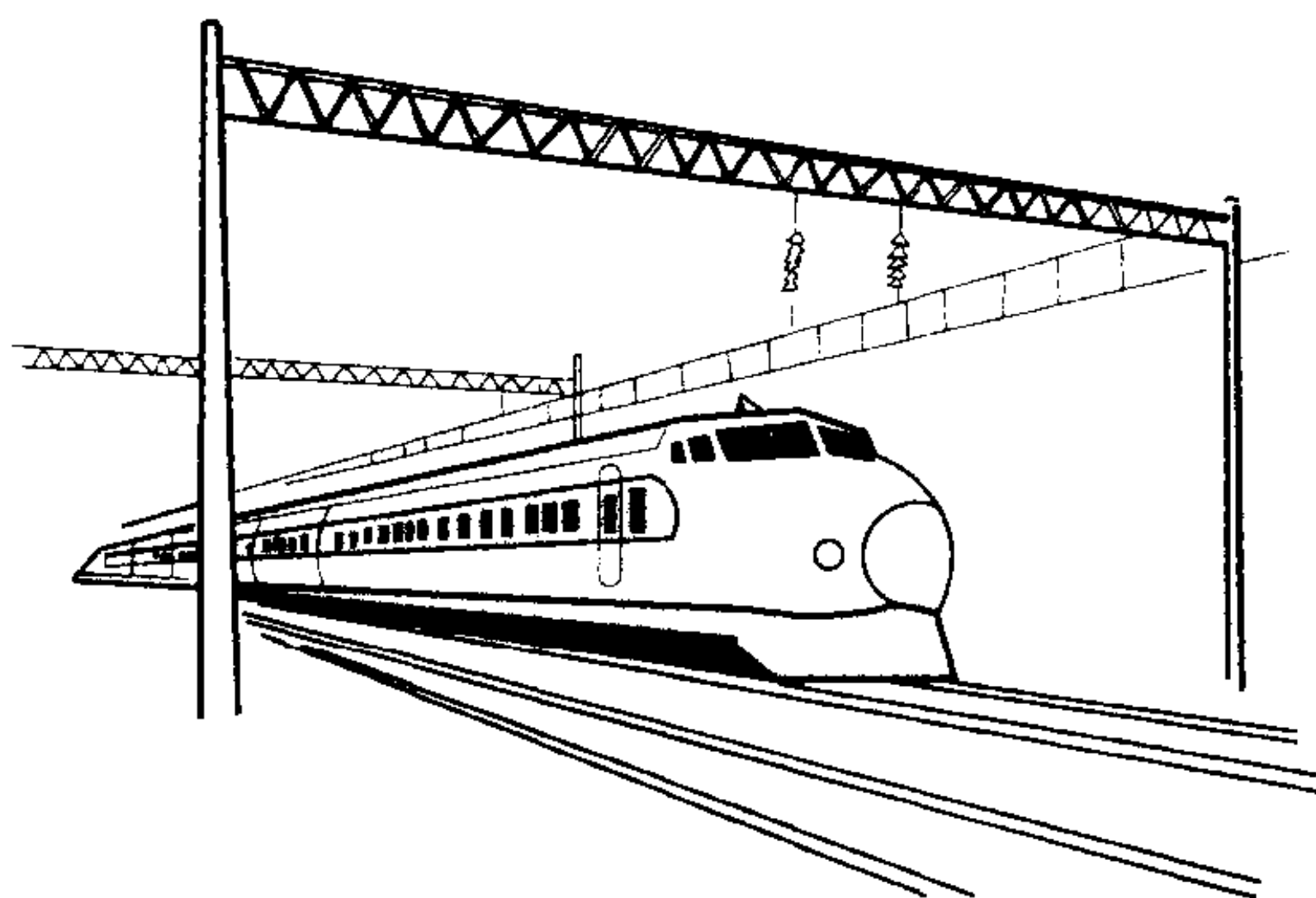


图 5.2 交流电气化及新干线铁道的时代

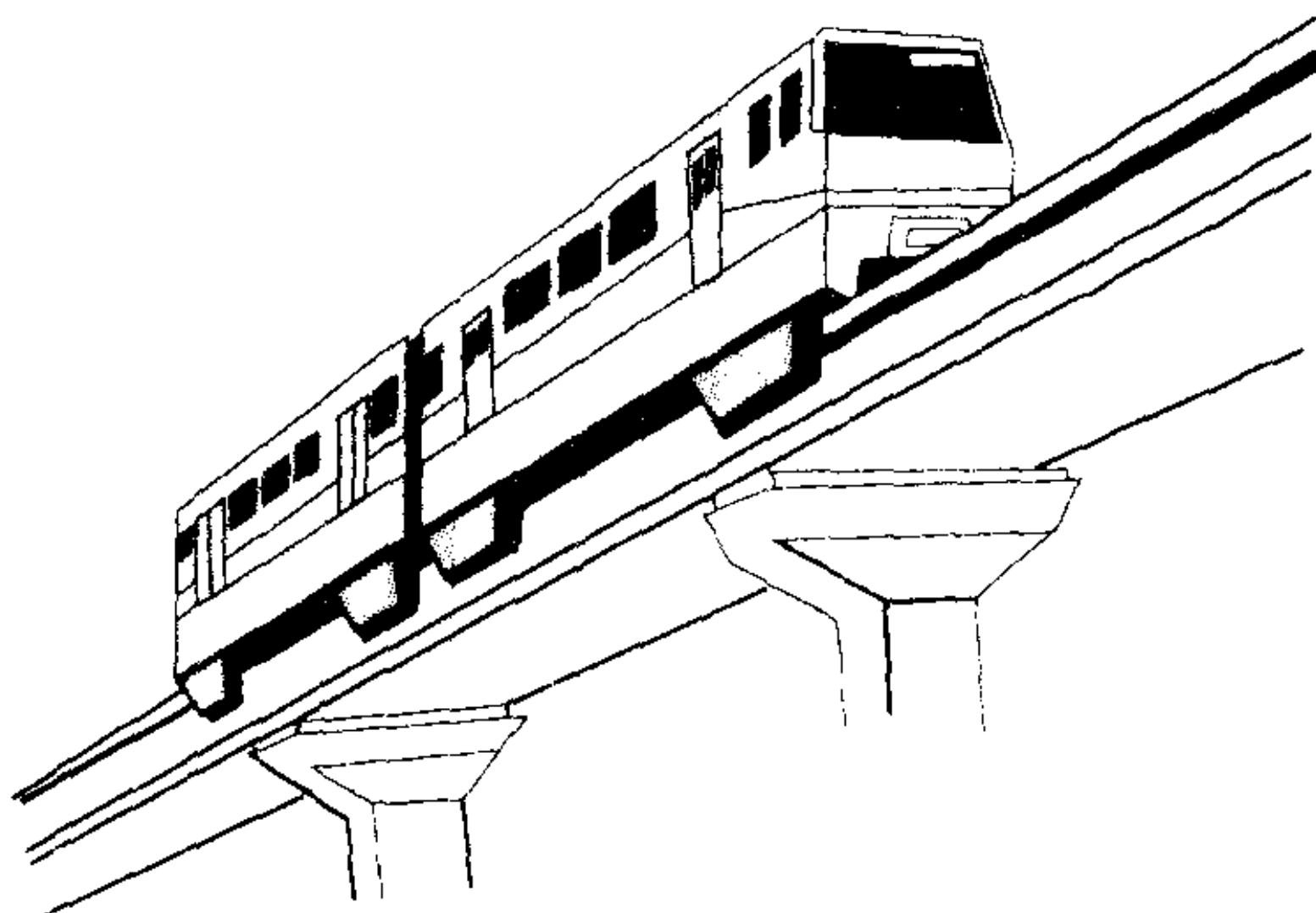


图 5.3 作为新交通系统的单轨铁道

1957 年 9 月 5 日：仙山线的仙台一作并间实现交流电气化，迈出日本交流电气化的第一步。可以说，该电气化的研究发展了常磐线的交直流两用电力机车，成为东海道新干线技术的基础。

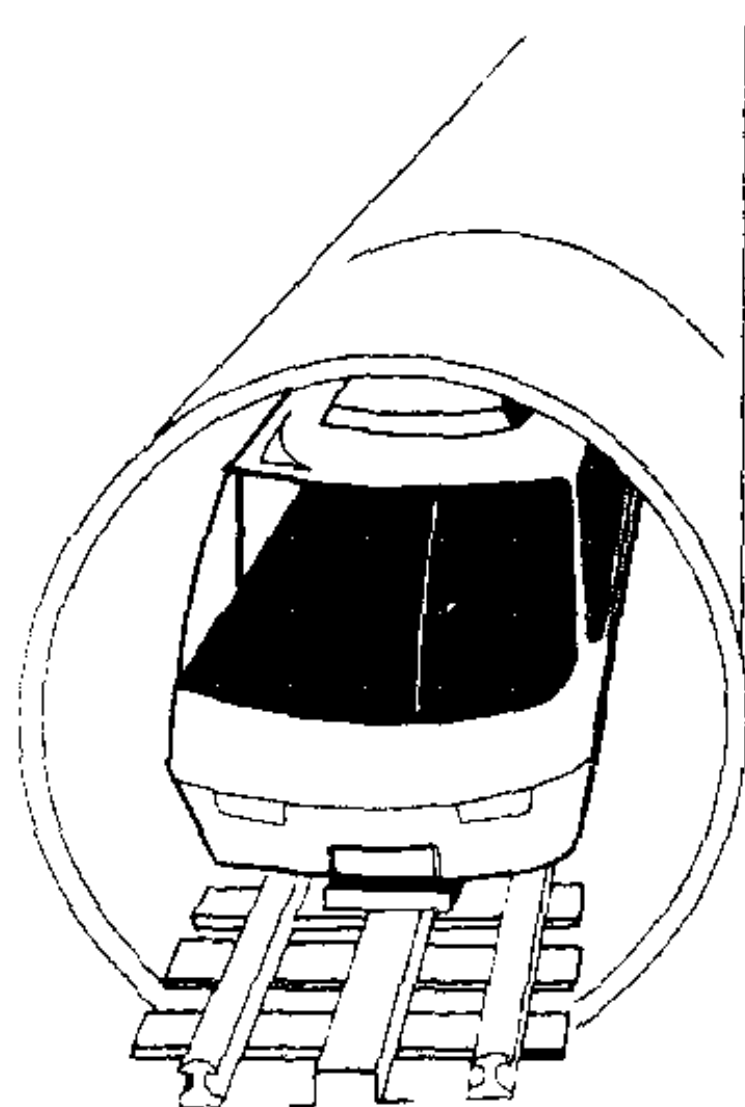


图 5.4 直线电动机驱动铁道
(1991 年开通的都营地铁 12 号线)

1964 年 10 月 1 日：东海道新干线的东京一大阪间开始运营。揭开了新干线铁道时代的序幕。新干线采用交流 25kV、60Hz 及标准轨距。

1982 年 6 月 23 日：东北新干线的大宫—盛冈间开始运营。

1982 年 11 月 15 日：上越新干线的大宫—新潟间开始运营。

1990 年 3 月 31 日：大阪市营地铁的京桥—鹤见绿地间 5.2km 开始运营(直线电动机驱动铁道)。

1991 年 12 月 10 日：东京都营地铁 12 号线的光之丘—练马间 3.8km 开始运营(直线电动机驱动铁道)。

5.2

铁道线路及车辆

铁道线路一般由路基、道床（碎石）、轨枕及钢轨构成(参见图 5.5)。

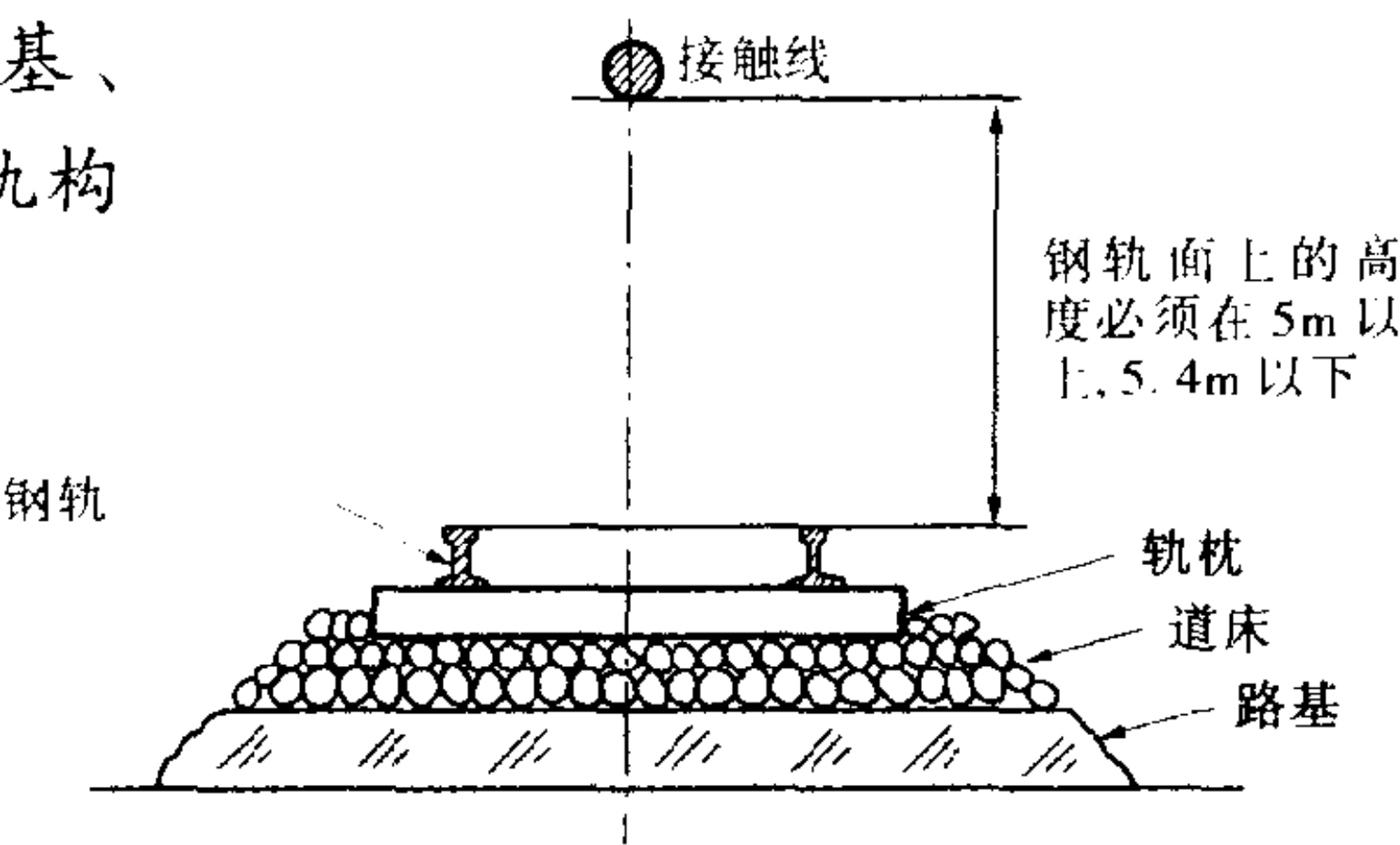


图 5.5 轨道及电车线高度

轨枕基本上是木制轨枕，但随着铁道的现代化，已广泛使用混凝土制的轨枕(叫做 PC 轨枕)(参见图 5.6)。

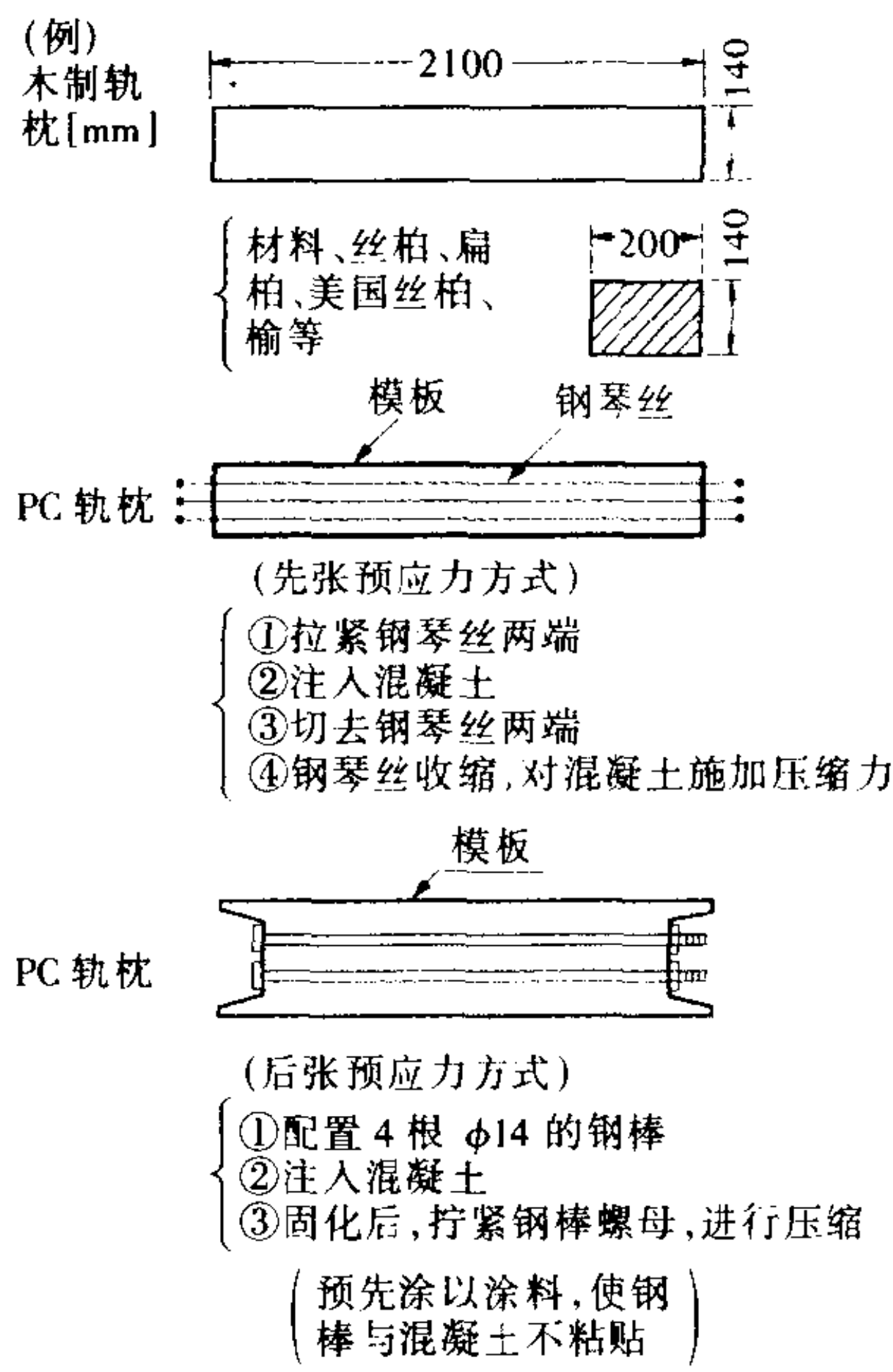


图 5.6 轨枕的种类及构造

在高架及桥梁上基本上连续敷设混凝土厚板,再直接连接钢轨(参见图 5.7),而不使用道床、道碴及轨枕。

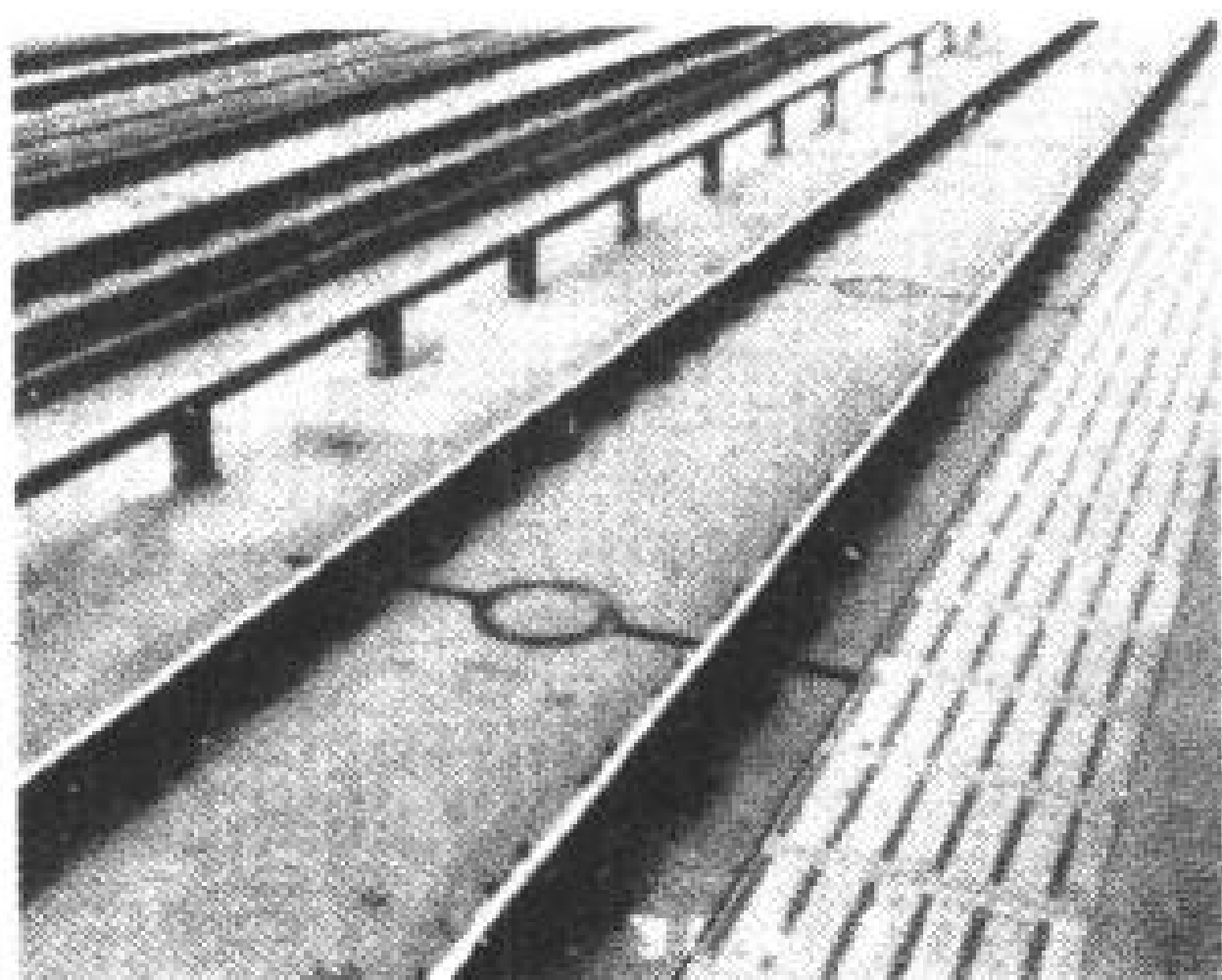


图 5.7 连续敷设混凝土厚板及钢轨

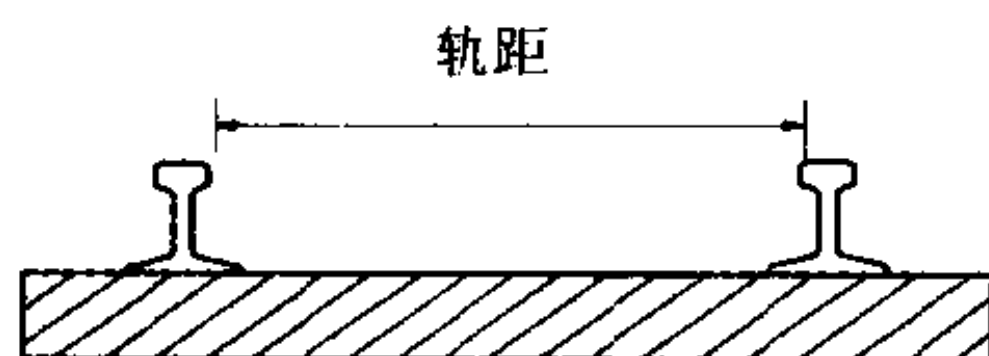
5.2.1 轨道

轨道是指路基上面到钢轨为止的部分。铁道与其它交通不同的特点是,只能在固定的线路(钢轨)上单方向运行,不能在左右方向上自由改变方向,因此铁道与汽车等相比,完全没有自由度。但是反过来,由于利用固定的线路,因此与其他的交通工具相比,运输的安全性相当高。

(a) 轨距

轨距是指左右钢轨头部内侧的最短距离。日本铁道的轨距除特殊场合外,有下列三种(参见图 5.8):

- ① 窄轨: JR(日本铁路)的原有线路及私铁(私营铁路)。
- ② 杂轨: 一部分私铁使用。



窄 轨 = 1067mm
 杂 轨 = 1372mm
 标准轨 = 1435mm
 宽 轨 = 比标准轨要宽,在日本不使用

图 5.8 轨距

③ 标准轨: 新干线及部分私铁。

作为参考的宽轨, 使用于原苏联国铁 (国营铁路)、西班牙国铁及美国国铁等。

(b) 钢轨

钢轨直接承受铁道车辆荷重, 对车轮进行正确安全的导向, 具有重要的作用。钢轨用单位长度(1m)的重量[kg]来区分类型。JR 以往使用 30kg、37kg、50kg 的钢轨。最近正改用新设计的 40N 和 50N 钢轨。

东海道新干线使用叫做 50T 的每米 53kg 的钢轨。山阳新干线进一步使用重量更大的 60kg 钢轨。对于 40N、50N、50T 及 60kg 的钢轨, 制造钢轨时的标准长度为 25m。材料为高碳钢, 含有碳 (C) = 0. 60% ~ 0. 75%, 硅 (Si) = 0. 40% 以下, 锰 (Mn) = 0. 60 ~ 0. 95%, 磷 (P) = 0. 045% 以下, 硫 (S) = 0. 045% (参见图 5. 9)。

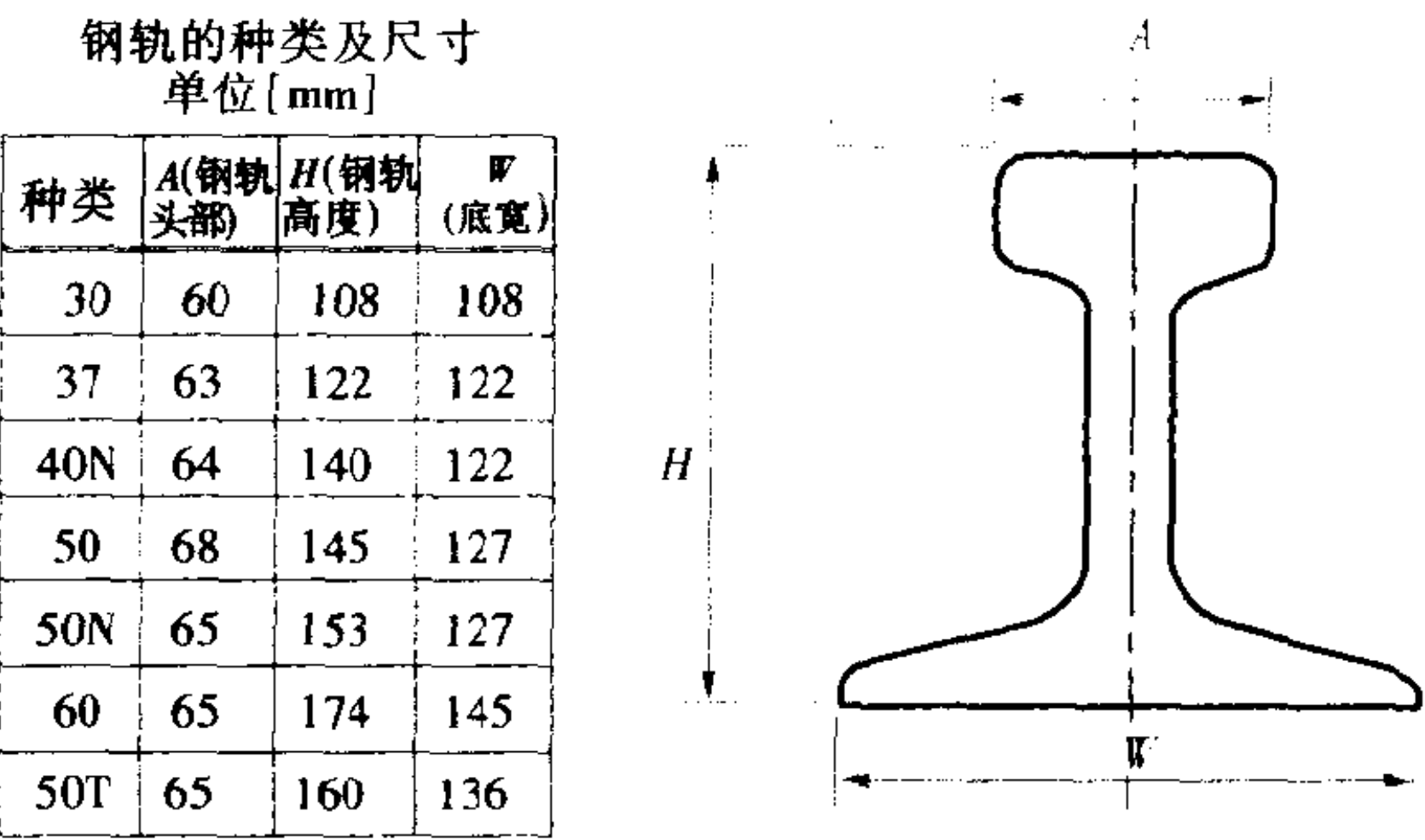


图 5. 9 钢轨截面及主要尺寸比较

(c) 曲线

铁道线路由于地形或其它各种情况, 常常必须取曲线。为了表示曲线的弯曲程度, 将曲线作为圆弧, 其半径用米来表示。曲线的种类有下列三种(参见图 5. 10):

- ① 单曲线
- ② 多心曲线
- ③ 反向曲线

(d) 坡度

当列车在图 5. 11 那样的坡度上移动时, A→B 方向移动叫做

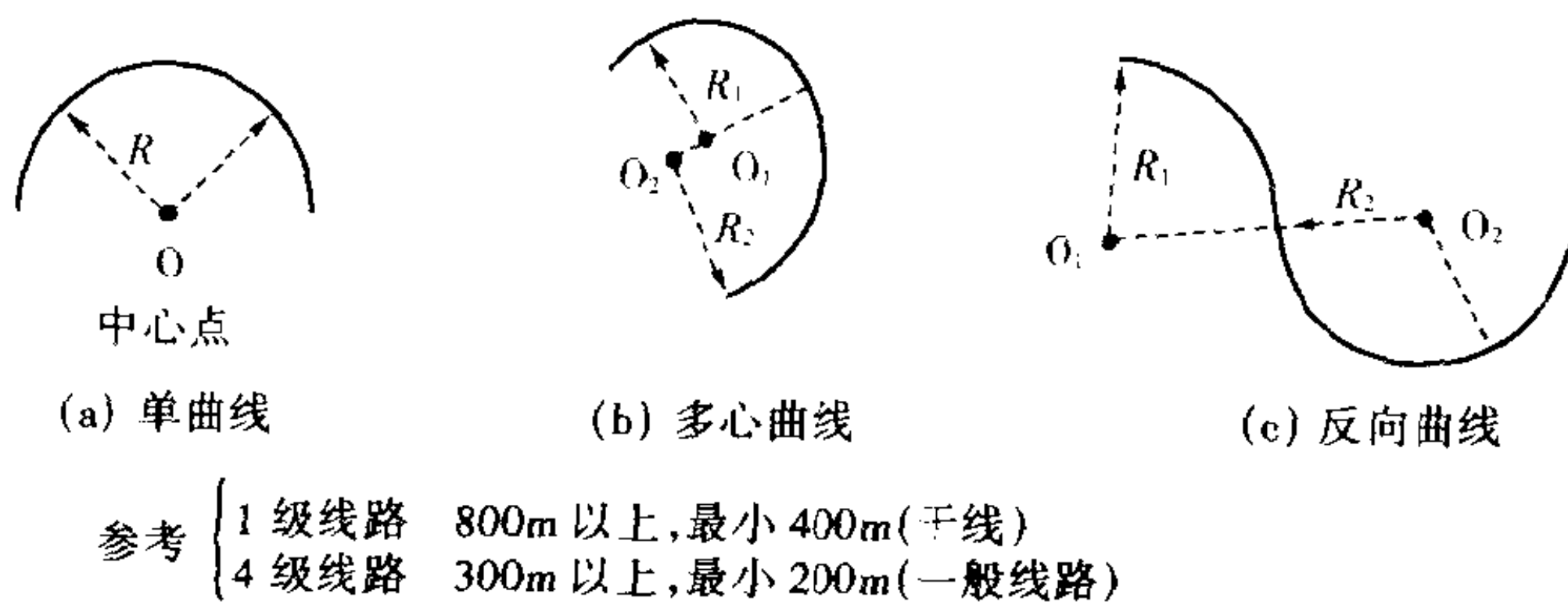


图 5.10 曲线的种类

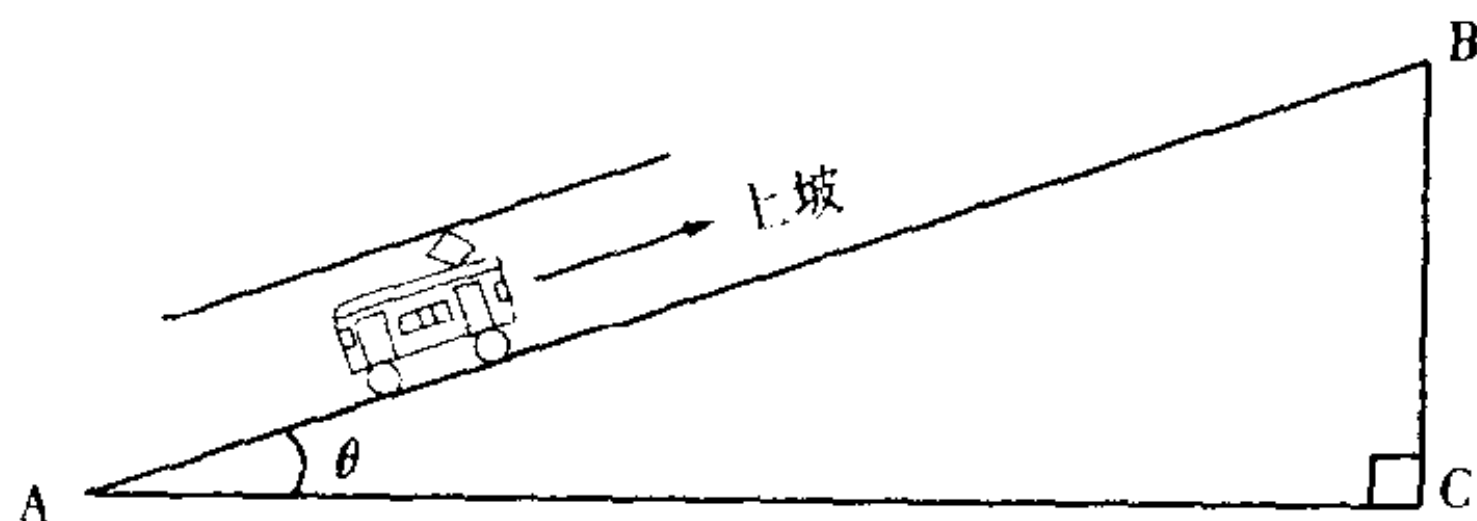
上坡, B→A 方向移动叫做下坡。在列车运行中, 坡度的大小有限制。坡度可用下式表示

$$\text{坡度 } \tan \theta \times 1000 = \frac{\overline{BC}[\text{m}]}{\overline{AC}[\text{m}]} \times 1000 [\text{‰}] \quad (5.1)$$

(‰: 千分比)

在铁道线路中, 由于 θ 非常小, 因此也可按下式计算 (因为当 $\theta < 9^\circ$ 时, $\tan \theta \approx \sin \theta$)

$$\text{坡度} \approx \frac{\overline{BC}}{\overline{AB}} \times 1000 [\text{‰}]$$



$$\text{坡度} = \tan \theta \times 1000 [\text{‰}]$$

由于铁道上 θ 很小, 因此也可以写作坡度 $\approx \sin \theta \times 1000$

参考

4 级线路	为 25 [‰] 以下
1 级线路	为 18 [‰] 以下

图 5.11 坡度

例题

$\overline{AC} = 600\text{m}$ 、 $\overline{BC} = 15\text{m}$ 的线路, 坡度为多少?

$$\begin{aligned}\text{解: 坡度} &= \frac{\overline{BC}}{\overline{AC}} \times 1000 [\text{‰}] \\ &= \frac{15}{600} \times 1000 = 25 [\text{‰}]\end{aligned}$$

答: 坡度 = 25 [‰]

5.2.2 铁道车辆

(a) 铁道车辆的种类

铁道车辆大致可分为机车、客车、电车、货车, 电车包括在车轴上安装电动机的电动车及由电动车牵引的拖车。

(b) 车辆的标记

铁道车辆利用标记能够识别车辆的种类。再有, 将客车及电车的等级如下进行分类:

イ = (旧一等车) 现在的软座车

ロ = (旧二等车) 现在的软座车

ハ = (旧三等车) 现在的普通车

① 机车 E: 表示电力机车

 D: 表示内燃机车

② 客车 コ・ホ・ナ: 木制车

(木制车已全部改装成半钢制车)

 オ・ス・マ・カ: 钢制车

其中符号表示车辆的重量。例如:

オ = 32.5 ~ 37.5t (未满)

ス = 37.5 ~ 42.5t (未满)

マ = 42.5 ~ 47.5t (未满)

カ = 47.5t 以上 (参见图 5.12 及图 5.13)

③ 电车的符号

クモ = 控制电动车 (带驾驶室的电动车)

モ = 中间电动车

ク = 控制车 (有驾驶室的车辆)

サ = 拖车

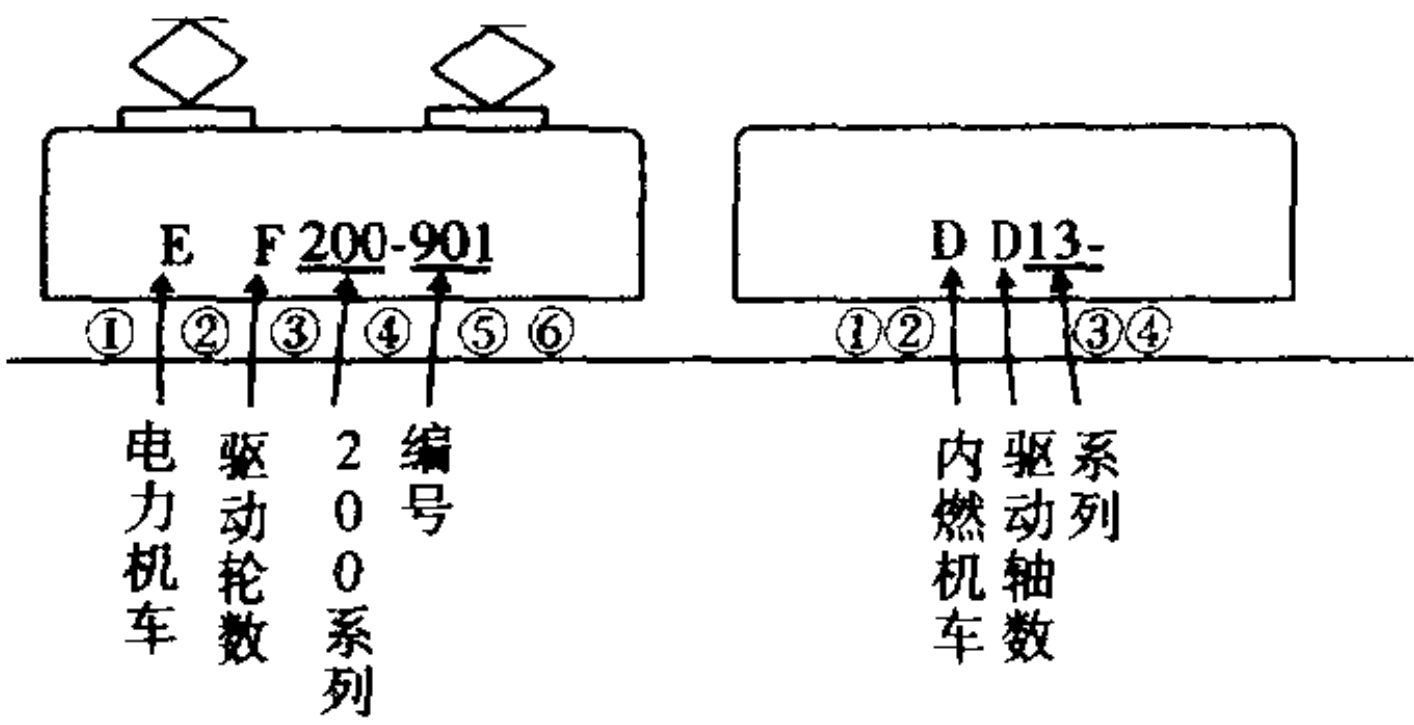


图 5.12 机车的符号

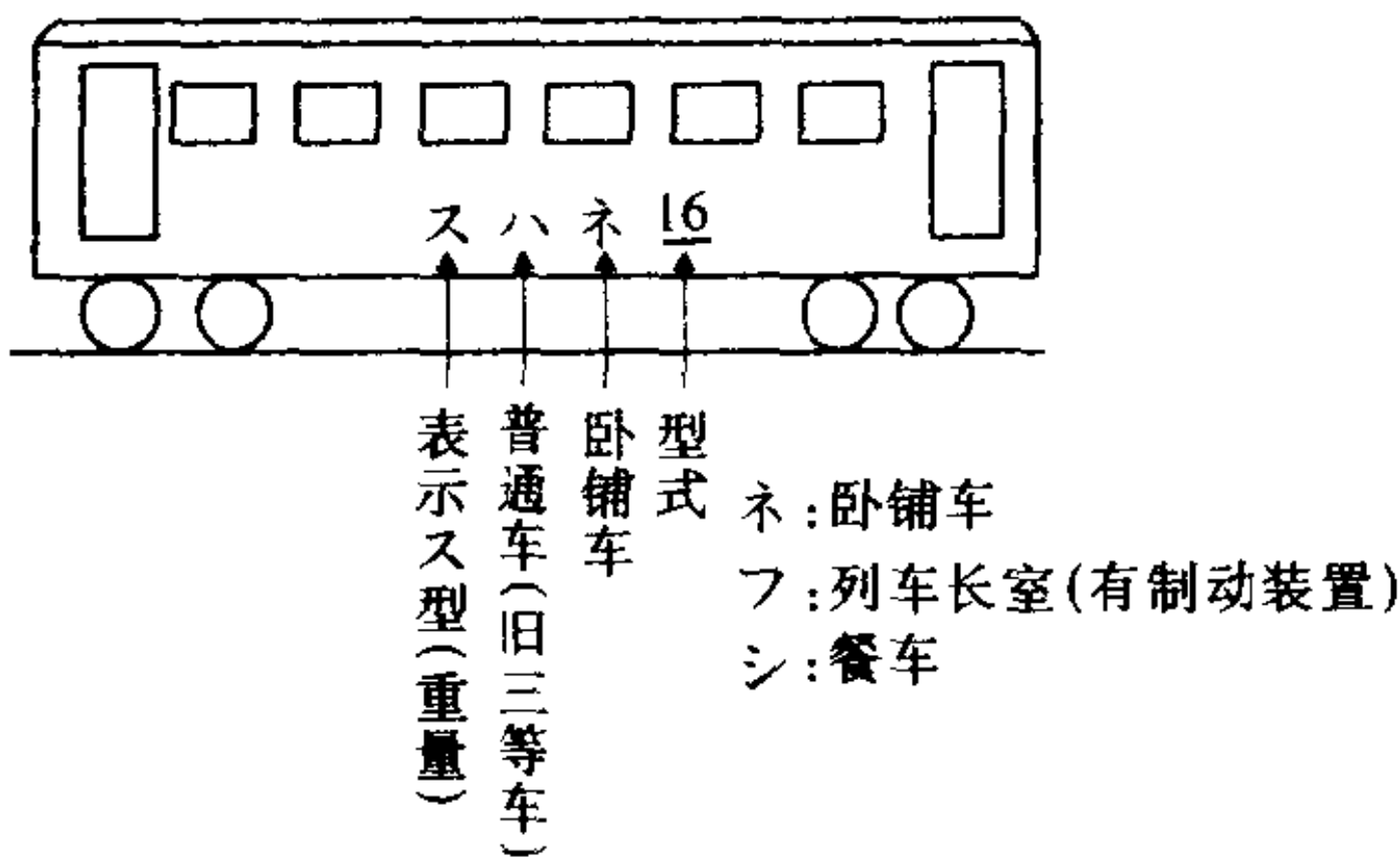


图 5.13 客车的符号

数字 100 ~ 999 表示直流新型电车、交流及交直流两用电车；
10 ~ 99 表示直流旧型电车(旧国铁及 JR 用)(参见图 5.14)。

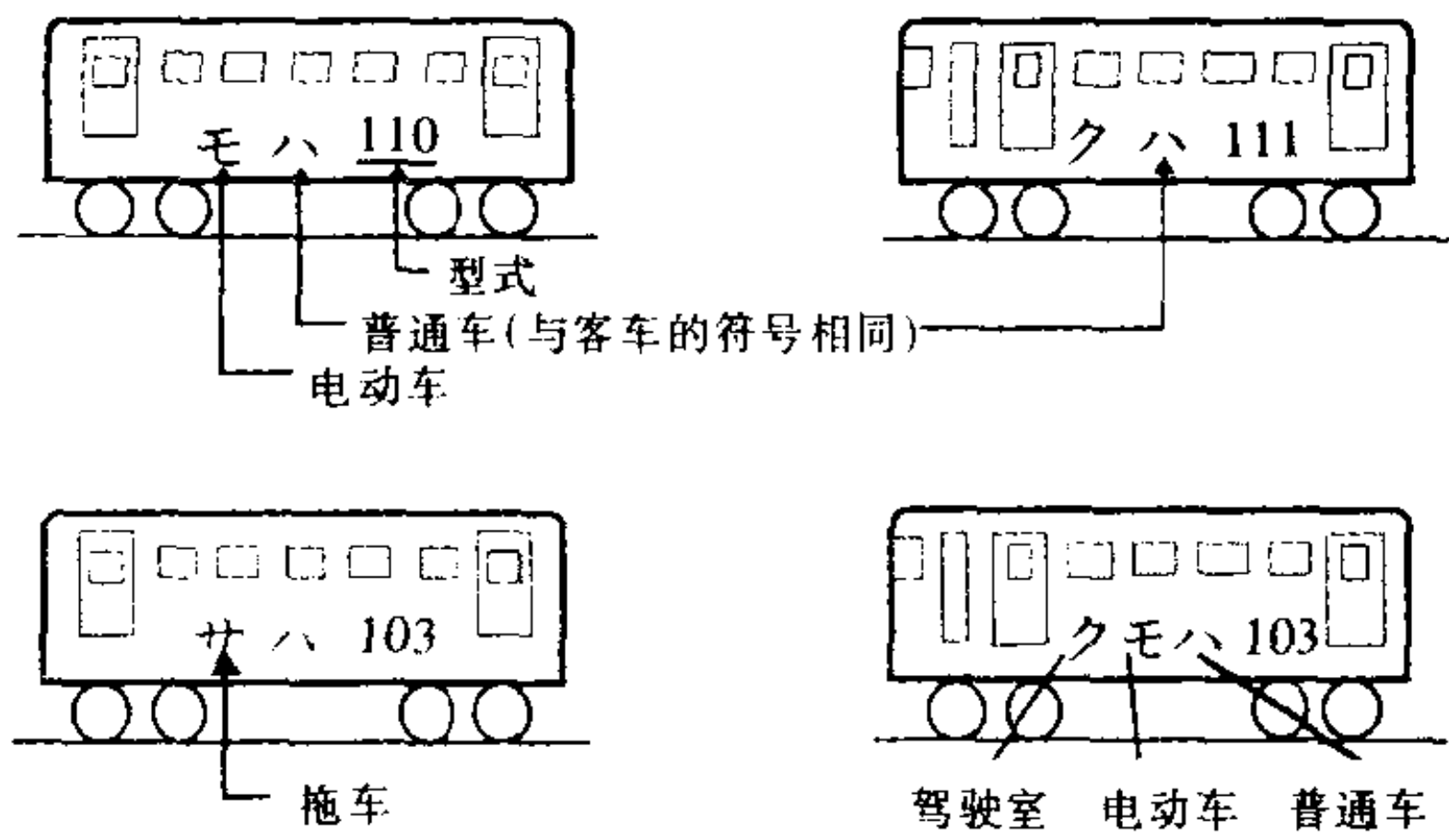


图 5.14 电车的符号

5.3

供电方式及电车线

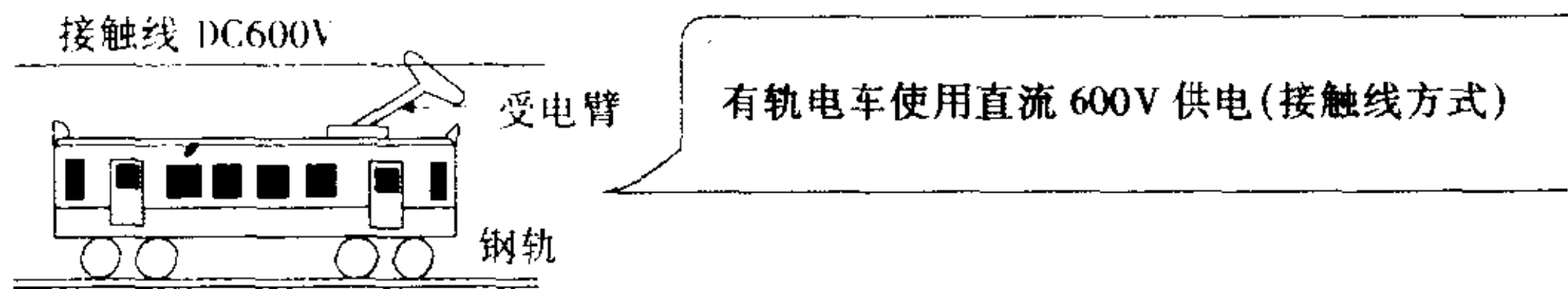


图 5.15 有轨电车(低速)

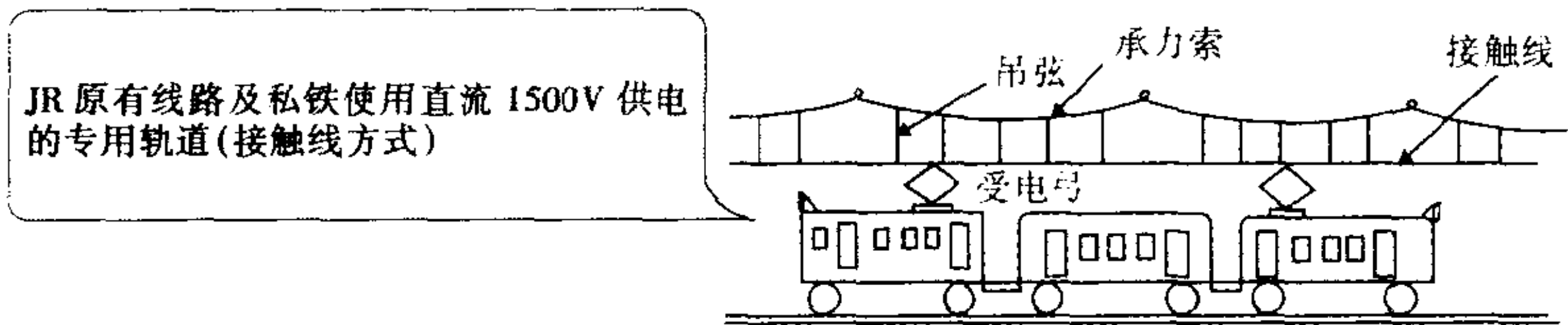


图 5.16 专用轨道(中速 100km/h 以下)

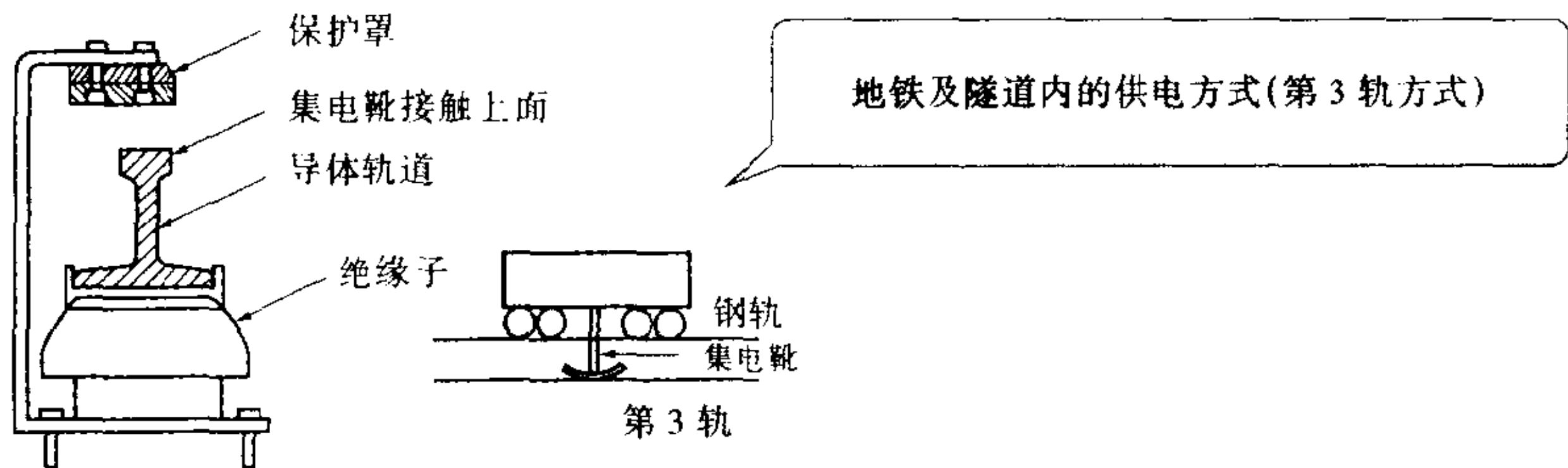


图 5.17 第 3 轨方式

5.3.1 电气铁道的种类

(a) 根据电流形式分类

① 直流(DC)方式

- DC600V——有轨电车(例如: 东京都电)
- DC1500V——专用轨道(例如: JR 原有电车)

② 交流(AC)方式

- AC20kV——JR 原有线路(交流电气化区间)
- AC25kV——新干线

(b) 根据电力供电方式分类

① 接触线方式: 受电器有两种型式, 一种是不能伸缩的受电臂, 另一种是可伸缩的受电弓(参见图 5.15 及图 5.16)。

② 第 3 轨方式: 在隧道内及地铁使用。该方式有上面接触式及下面接触式两种。电压使用 750V 以下。导体轨道采用导电率为铜的 1/7 左右的材料。图 5.17 所示为上面接触式。

(c) 直流电气化与交流电气化的比较

① 变电所的间隔: 由于在直流区间使用的电压为 1500V, 因此必须在电车线沿线每隔 5 ~ 15km 设置变电所, 从交流变换为直流。而由于在交流区间使用 20kV 或 25kV 的高电压, 因此变电所可以延长至 40 ~ 100km(参见图 5.18)。

② 受电弓: 由于交流电气化能够使用高电压, 因此利用受电弓的受电电流小, 对于受电装置的设计是有利的(能够小型化)。

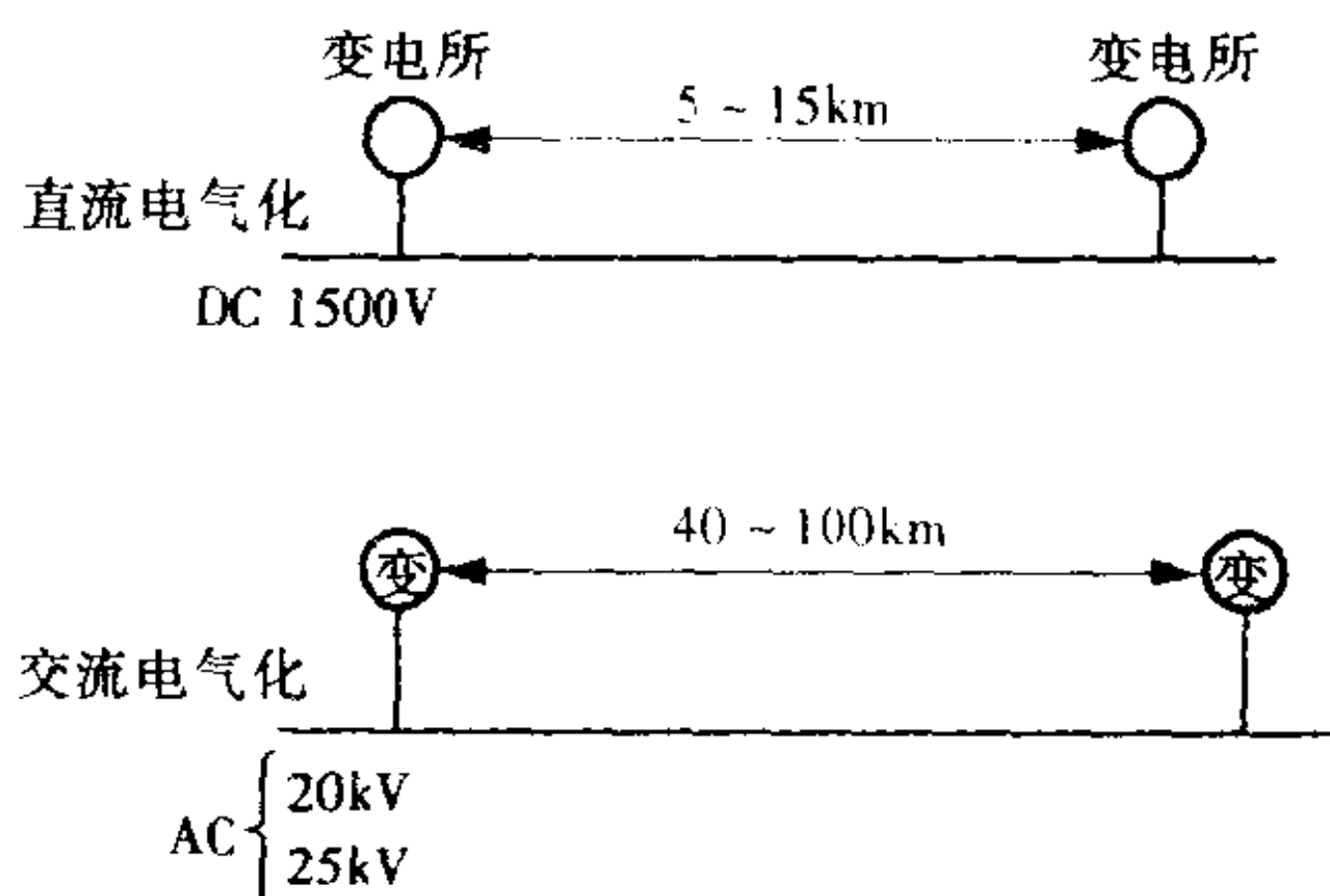


图 5.18 变电所的间隔

③ 速度控制: 交流供电时可利用切换变压器分接头改变电压, 能够很经济地实现调速(没有电阻引起的电能损耗)。

④ 车内设备: 在交流电气化情况下, 由于在车内利用变压器能得到任意的交流电压, 因此各种电动机及附属设备等就很简单(冷气、暖气及照明等)。

(d) 交流电气化的问题

① 对通信线路产生感应干扰(采用通信电缆)。

② 由于从一般的电力系统取得单相电，因此带来电压的不平衡，必须要考虑这一点。另外，自动信号的轨道回路必须采用工频以外的频率。

5.3.2 电气线路

为了使电车运行，必须要有变电所，以便将从电力系统(馈电线)接受的功率转变为适合于电车运行的形式。另外，还必须敷设从变电所向电车供给功率用的电气线路。

① 直流馈电方式：从电力系统接受的功率在变电所经过降压，再用整流设备变换为直流。该直流功率用馈电线的粗电线以一定间隔与接触线通过分支导线连接。从变电所到接触线为止的电气线路叫做馈电线。目的是减少由于接触线及钢轨产生的电压

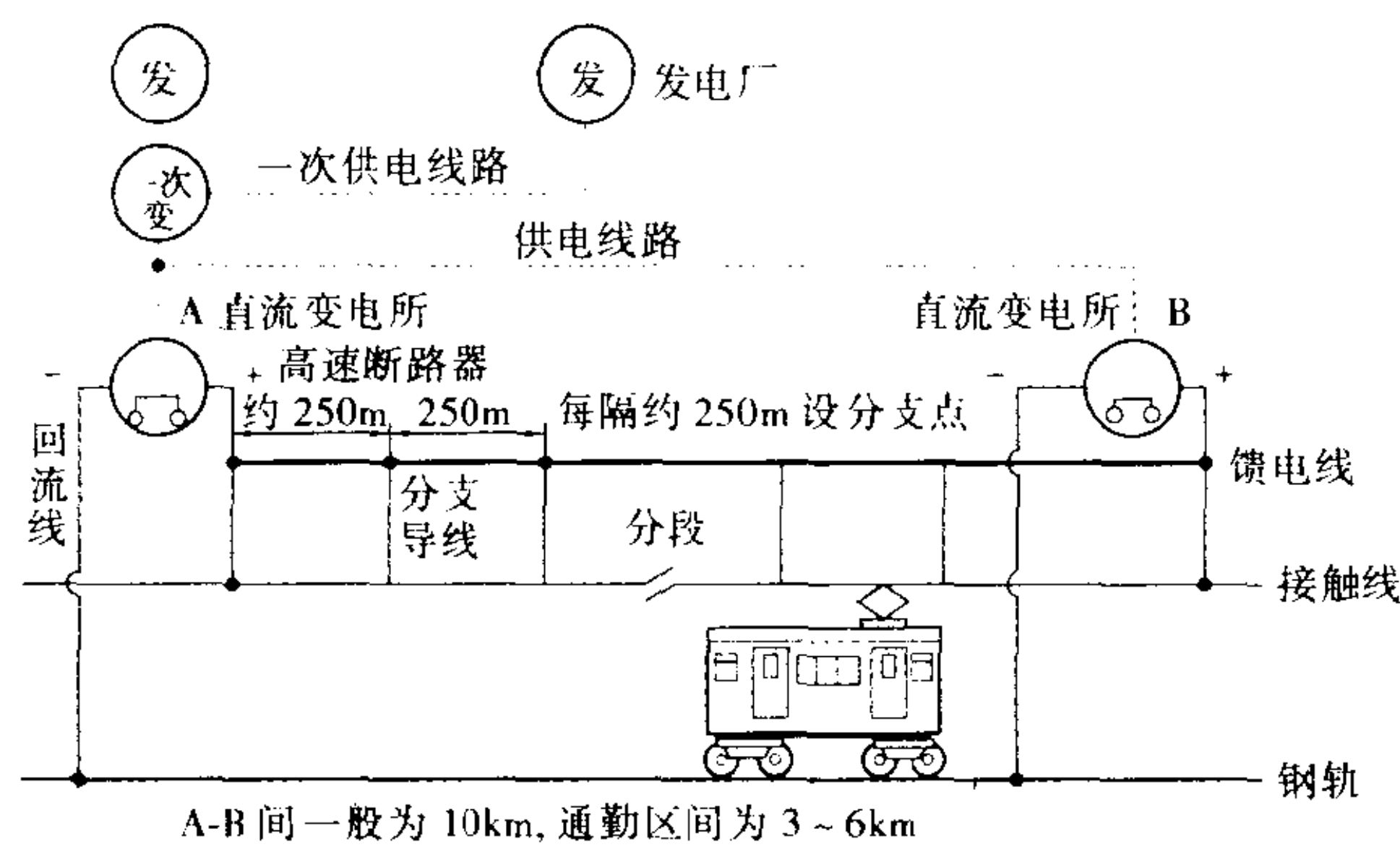


图 5.19 直流馈电方式的构成举例

降(参见图 5.19)。

② 交流馈电方式：在交流电气化区间，因地区不同，有 50Hz 及 60Hz 两种方式，因此必须确定在什么地方。东海道新干线用 60Hz。但是，由于电力系统有 50Hz 地区及 60Hz 地区，因此从 50Hz 地区接受的功率要利用变频装置变换为 60Hz 以后再馈电。图 5.20 所示为 BT 馈电方式。

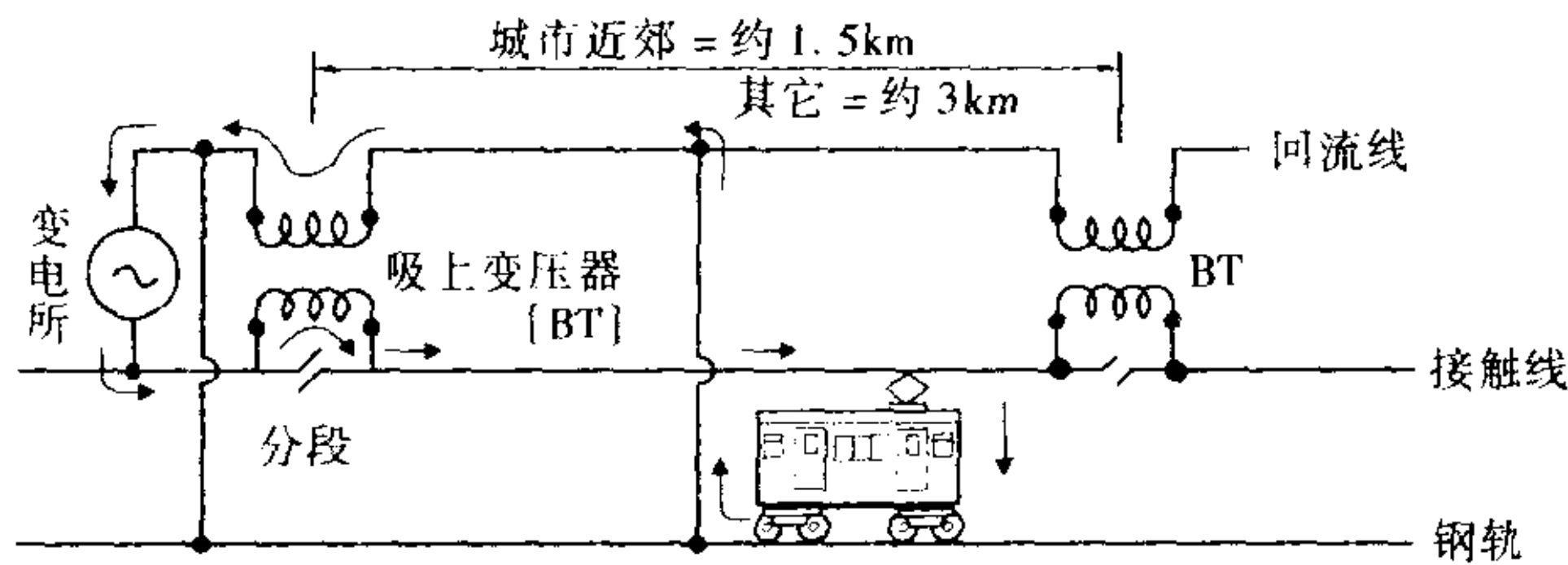


图 5.20 交流馈电方式的构成举例(BT 方式)

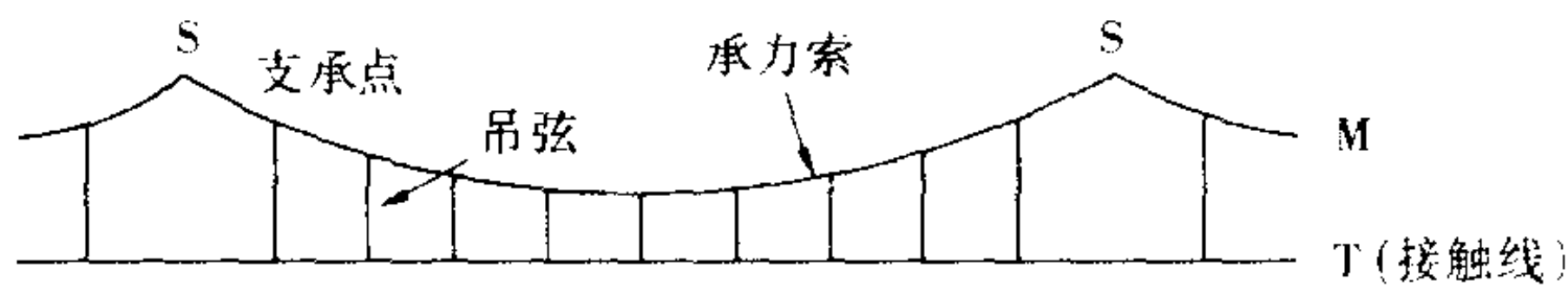
5.3.3 电车线

在电气铁道上，沿轨道在上方中心部位约 5m 的位置设置接触线，电车的受电弓与之接触而受电。将该接触线与支持接触线的支持装置叫做电车线路或电车线。

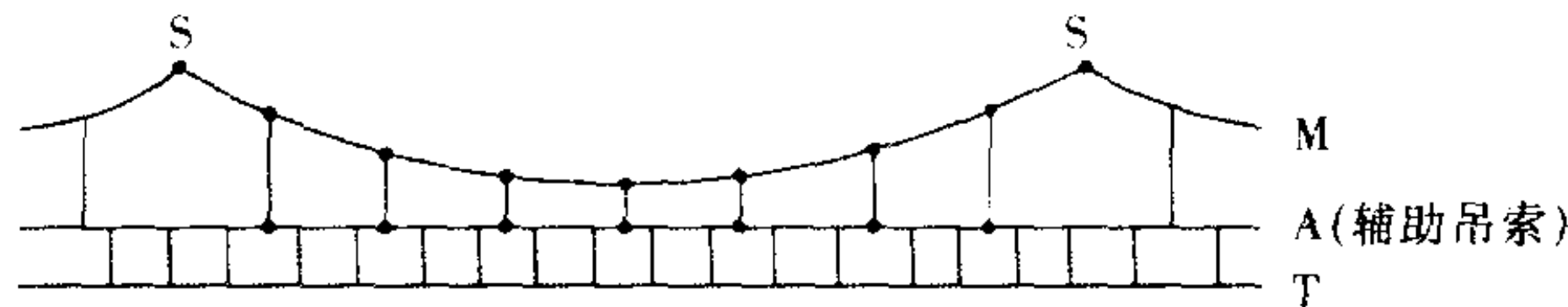
随着电车的高速化，开发了各种提高受电能力的方法。

(a) 单链形

一般广泛用于中速电气铁道(参见图 5.21(a))。



(a) 单链形(S - S 间的直线距离 = 50m)



(b) 双链形

图 5.21 架空电车线的构成

(b) 双链形

如图 5.21(b)所示，是用辅助吊索分两段悬吊接触线的方式，适合于高速铁路，用于东海道本线(东京—来宫)及新干线。

(c) 电车线的支持方式

图 5.22 所示为电车线的支持方式。

(d) 接触线及吊弦(参见图 5.23)

接触线的材料是硬铜线，截面积为 110mm²，标准张力为 1t。

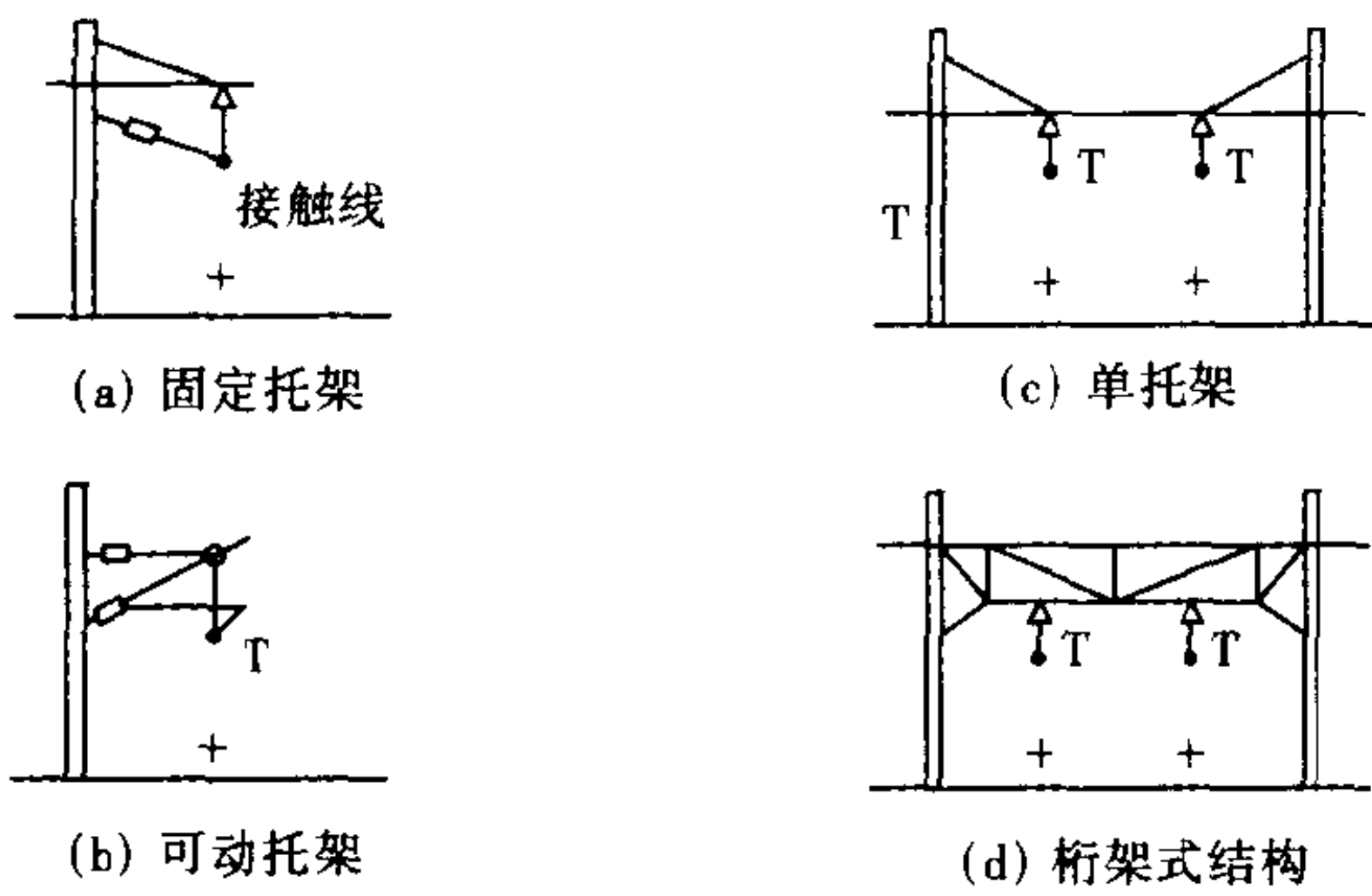


图 5.22 电车线的支持方式

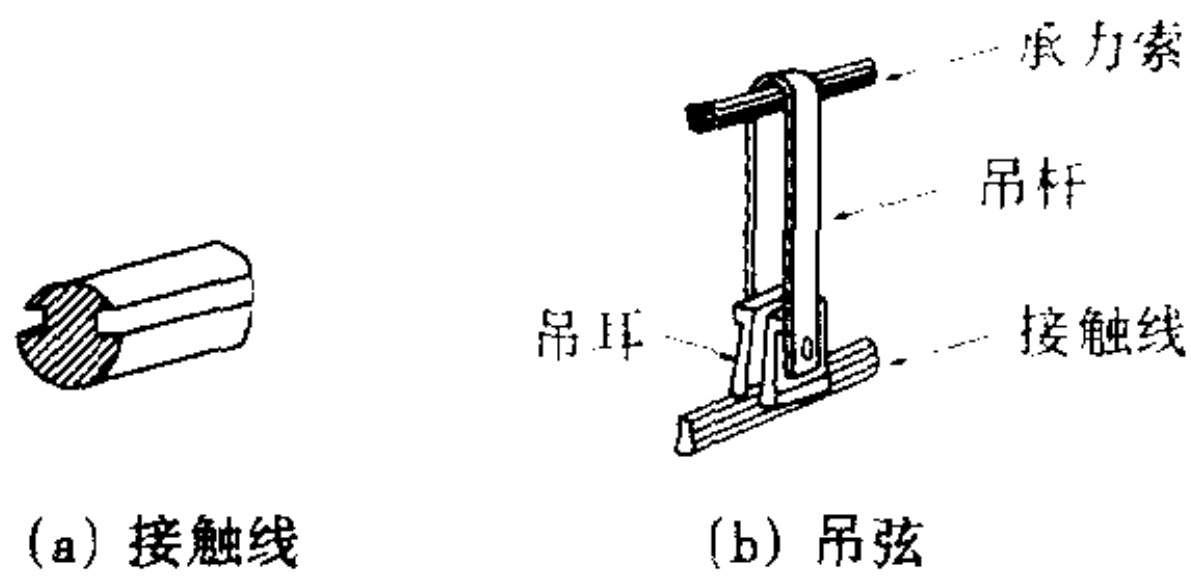


图 5.23 吊弦及接触线

新干线用的为 170mm^2 ，张力为 1.5t 。一旦气温发生变化，则架空接触线的张力发生变化，或者产生断线，或者由于松弛而使受电效果变差，因此需要每隔一定距离（约 1.5km ）敷设张力调整装置。另外，为了不使接触线仅接触受电弓的中心部位（防止接触线嵌入受电弓），应使接触线呈 Z 字形。

5.4 电力机车

直流电力机车的调速方式采用串并联调速法（参见图 5.24）。

交流电力机车的代表是新干线（参见图 5.25）。

交直流两用电力机车通过交直流切换器能够在直流电气化区间（DC1500V）及交流电气化区间（20kV）的线路区间运行（参见图 5.26）。

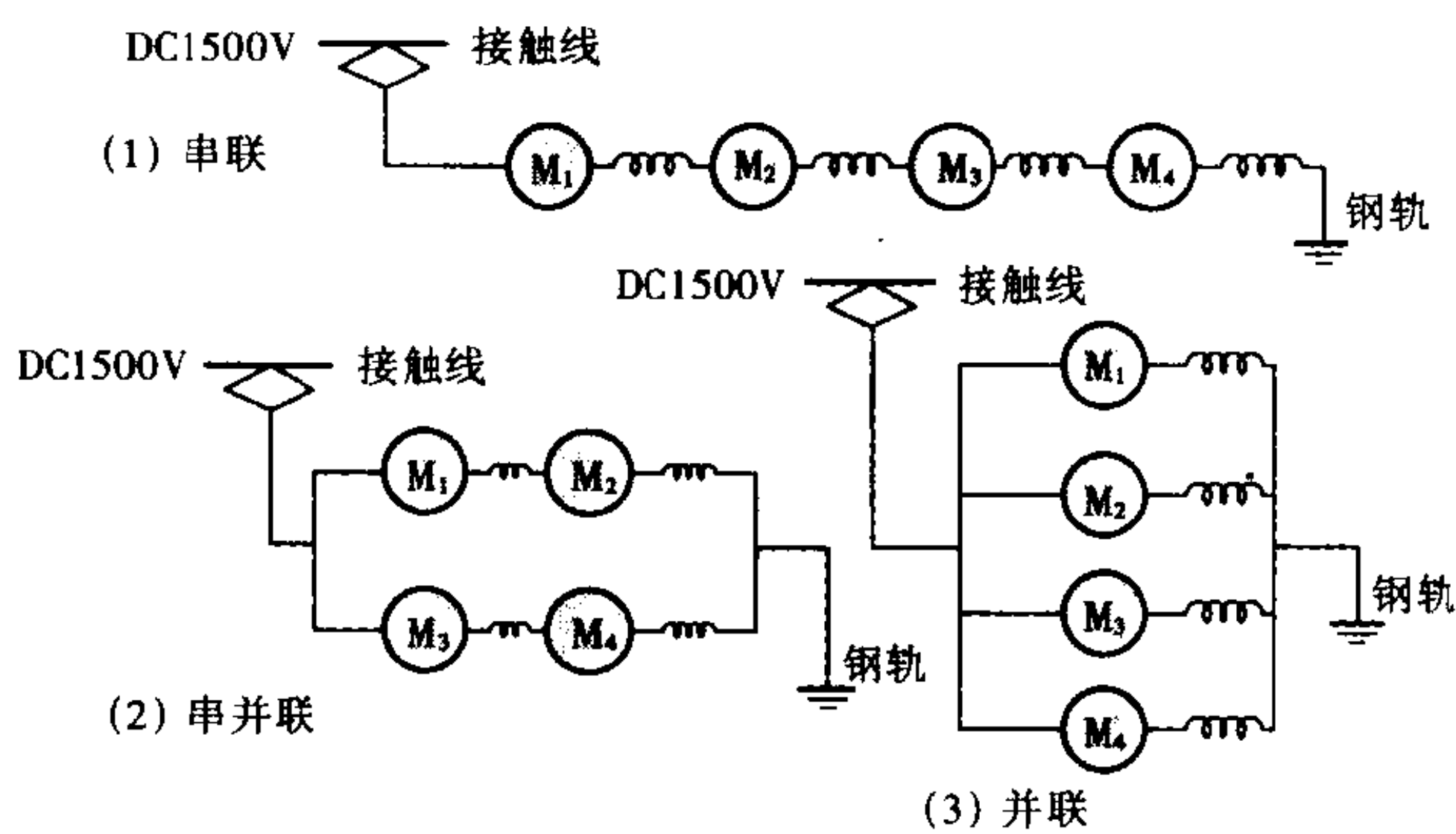


图 5.24 直流电力机车的串并联调速法

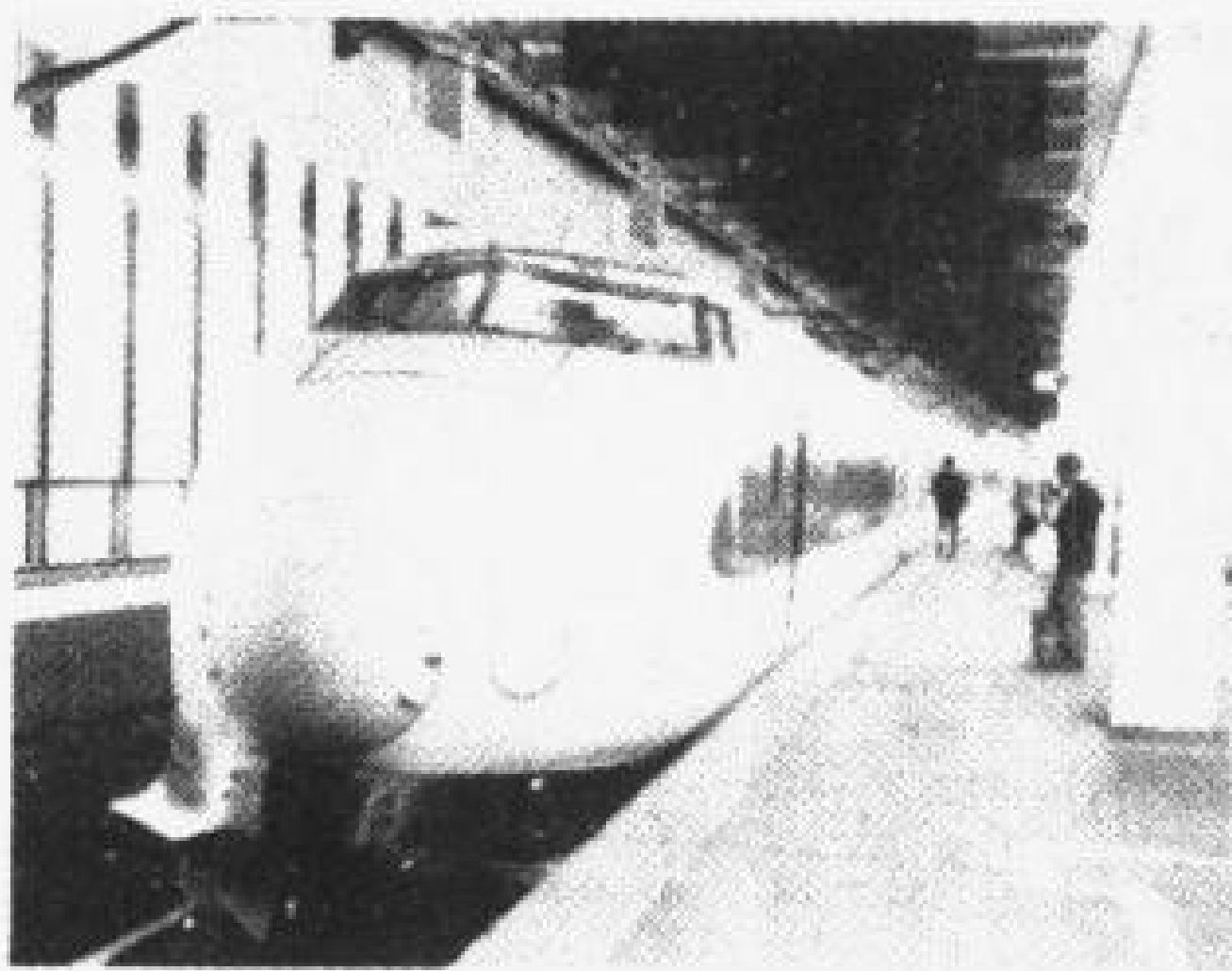


图 5.25



图 5.26

5.4.1 直流电力机车

直流电力机车的电压是直接由接触线接受的直流电压，数值保持不变直接加在主电动机上，因此从绝缘来看，电压在 3000V 以下。日本采用 1500V 为标准，也有的采用 600V 或 700V 的。

(a) 电力机车用的电动机

电力机车出发时，需要很大的力。这时的速度为零。从电动机来看，需要转速为零时转矩非常大的电动机。具有满足这样要求的特性的电动机是直流串励电动机(参见图 5.27)。

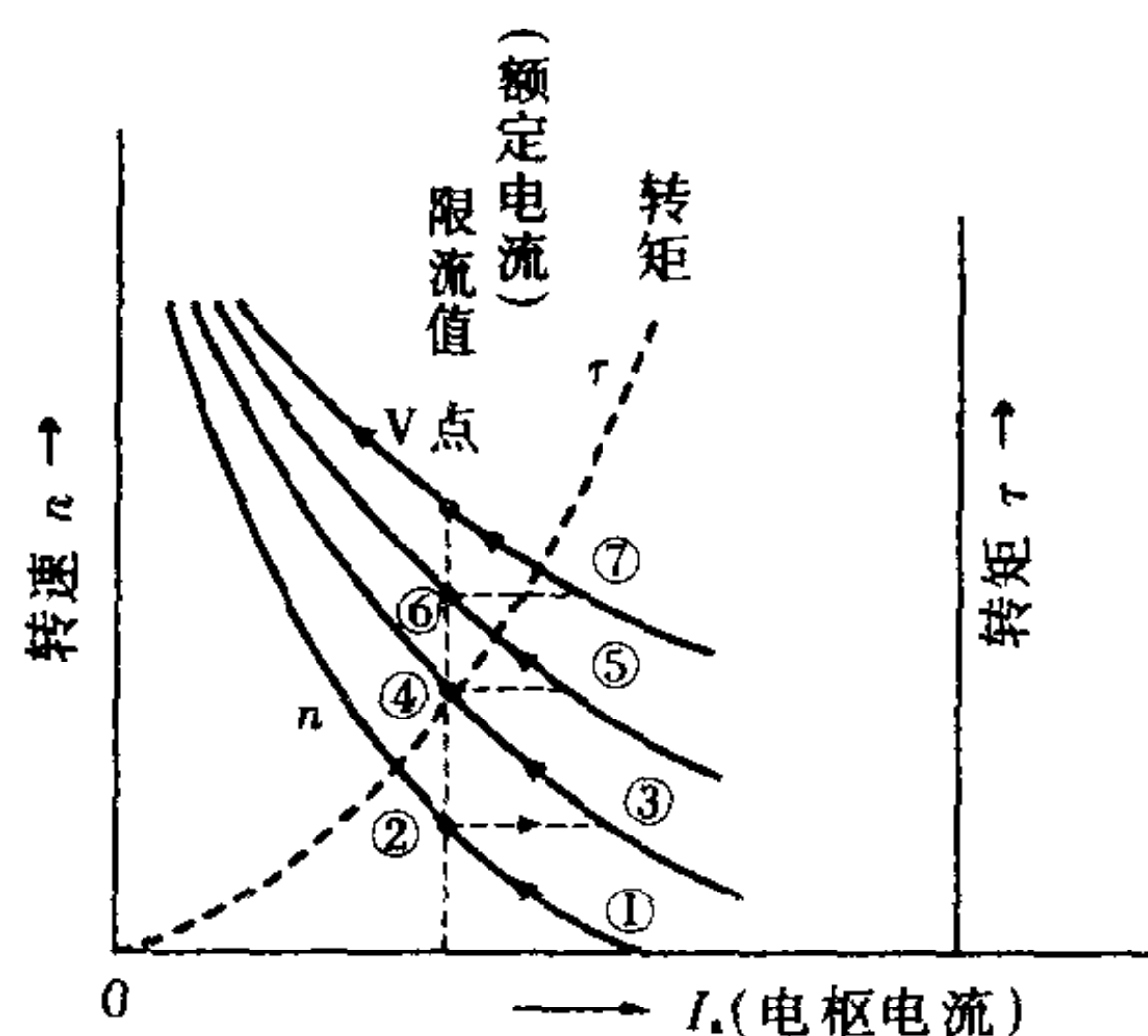


图 5.27 串励电动机的特性

(b) 直流串励电动机的特性

在图 5.28 中，若设电源电压为 V_t ，则得下式

$$V_t = E_a + I_a(R_a + R_f + R_0) \quad (5.2)$$

式中， E_a 为反电势， I_a 为电枢电流， R_a 为电枢电阻， R_f 为串励绕组电阻， R_0 为串联电阻。

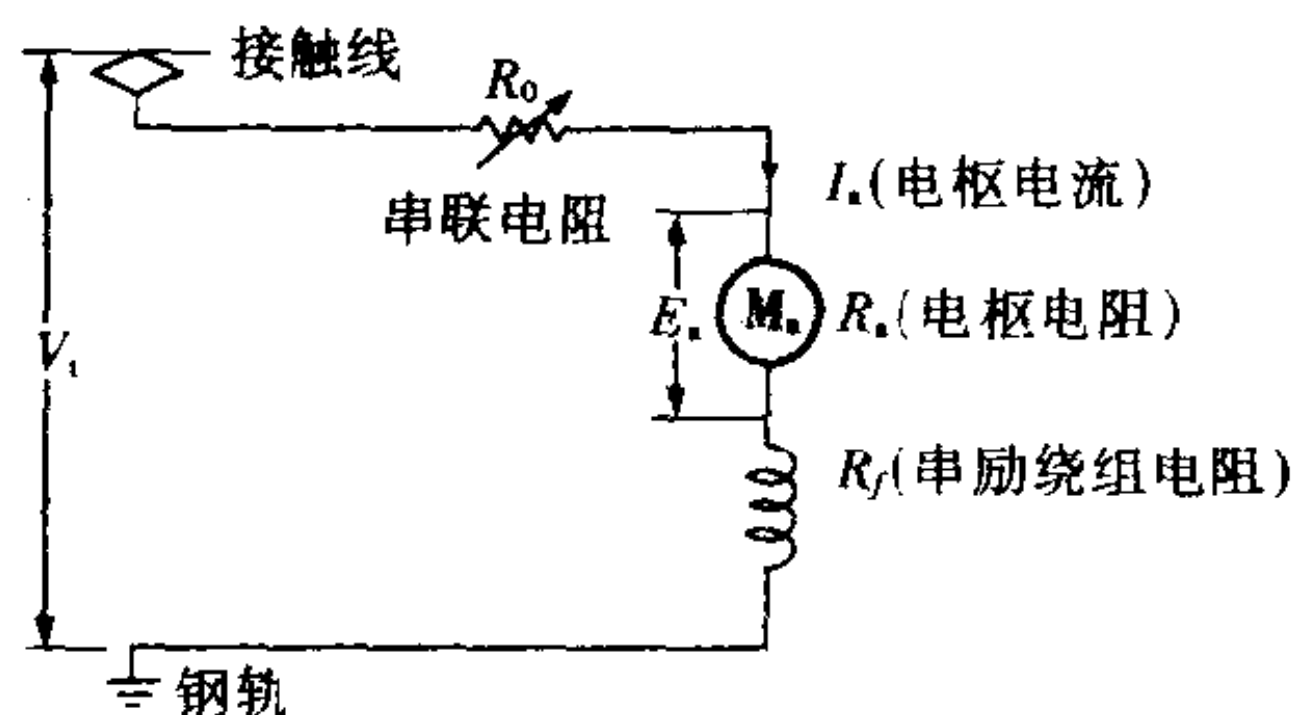


图 5.28 串励电动机电路

另外,反电势(感应电动势)由下式表示

$$E_a = K\Phi n [\text{V}] \quad (5.3)$$

式中, K 为常数, Φ 为磁场磁通, n 为转速 $[\text{r}/\text{min}]$ 。

电车起动时,由于 $n \approx 0$,因此上式中 $E_a = 0$,则

$$V_t = I_a (R_a + R_f + R_0)$$

由于起动时电动机中流过过大的电流,因此串入串联电阻 R_0 以保护电动机。电动机一旦开始旋转,则 n 增加,由于 $E_a = K\Phi n$,因此 E_a 达到一定的数值, I_a 减少,达到稳定。

所以,当减少串联电阻 R_0 至零时,可以用下式表示

$$V_t = \underbrace{K\Phi n}_{E_a} + I_a \left(\underbrace{R_a}_{\text{小}} + \underbrace{R_f + R_0}_{\text{大}} \right) \quad (5.4)$$

5.4.2 直流电力机车的调速方式

(a) 电阻调速法

图 5.29 所示为电阻调速的原理。

- i) 电力机车起动时 I_a 为①。电力机车的速度 v 与电动机的转速 n 成正比,接着电力机车渐渐提高速度,达到②。
- ii) 接通 S_1 , I_a 就从②→③, v 渐渐上升,达到④。
- iii) 接通 S_2 , I_a 就从④→⑤, I_a 渐渐达到⑥。
- iv) 一接通 S_3 , 则 I_a 就从⑥→⑦,在与列车阻力平衡的 V 点附近达到一定速度。

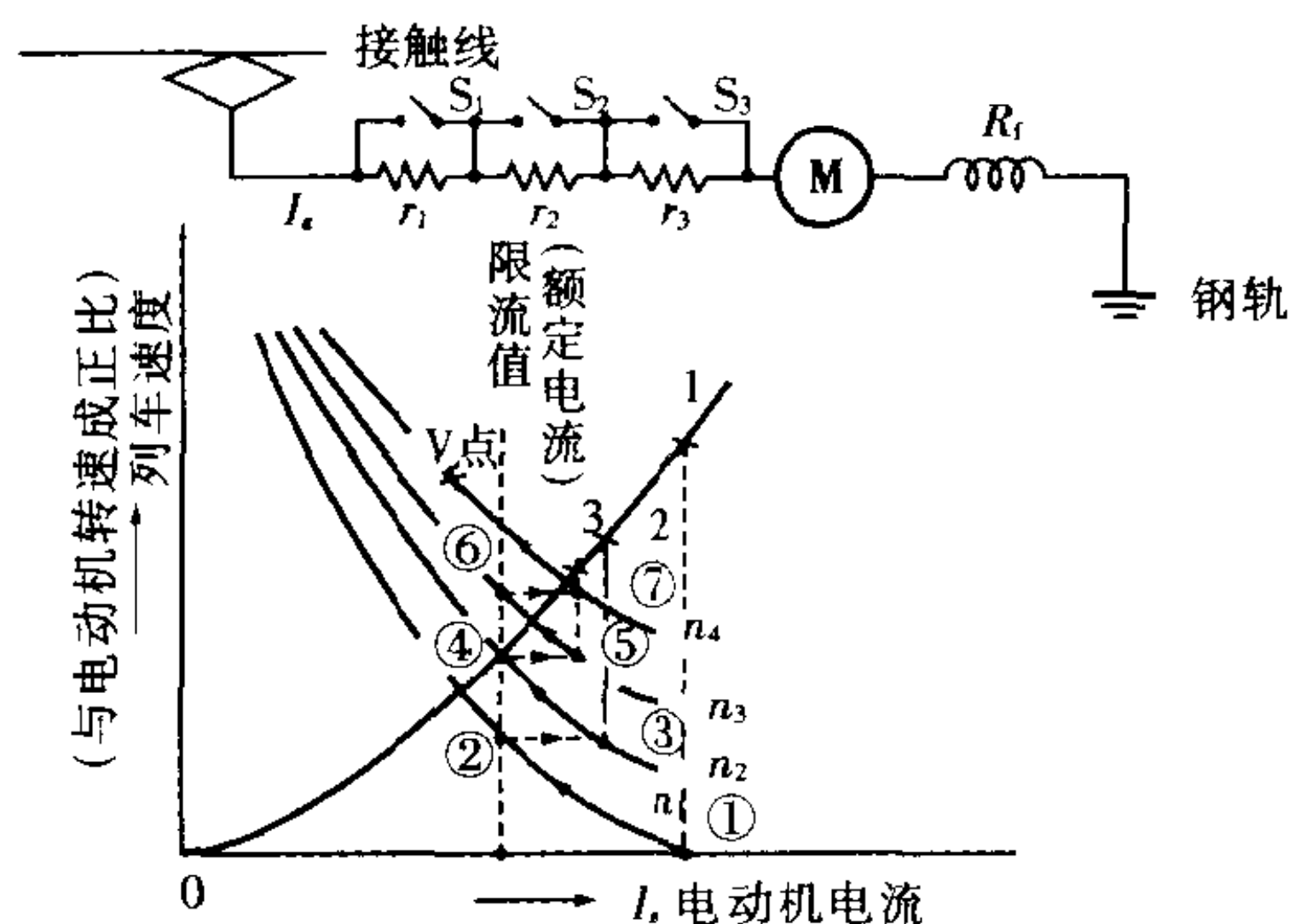


图 5.29 电阻调速法

(b) 电压调速法

电力机车起动后, 即使采用电阻调速法使 R_0 (串联电阻 $r_1 + r_2 + r_3$) $= 0$, 电力机车的速度也不会超过与机车阻力平衡的一定速度以上。下面采用电压调速。在式(5.2)中, 由于 $R_0 = 0$, 即 $V_t = K\Phi n + I_a(R_a + R_f + R_0)$ 中 $R_0 = 0$, 则

$$V_t = K\Phi n + I_a(R_a + R_f)$$

这里, 由于 R_a 及 R_f 的电阻值很小, 若设其近似为零, 则

$$V_t \approx K\Phi n$$

根据上式得到

$$n \approx KV_t / \Phi$$

这里, 为了改变电动机的转速 n , 只要改变 V_t 或改变串励磁场即可。下面, 改变加在电动机上的 V_t 。由于现在的电力机车每一辆有四台电动机, 因此若像图 5.24 那样将这些电动机进行串并联, 则加在每一台电动机上的电压 V_t 就发生变化。

① 串联时 (设接触线电压 = 1500V)

每一台 $V_t = 1500/4 = 375[\text{V}]$, $n_1 \approx K \times 375 / \Phi$ 。

② 串并联时

每一台 $V_t = 1500/2 = 750[\text{V}]$, $n_2 \approx K \times 750 / \Phi$, 约为 n_1 的 2 倍。

③ 并联时

每一台 $V_t = 1500/1 = 1500[\text{V}]$, $n_3 \approx K \times 1500 / \Phi$, 约为 n_1 的 4 倍。

(c) 励磁调速法

① 减少励磁法: 在前面说明了 $n \approx KV_t / \Phi$, 在该式中, 若 V_t 为恒定值, 则 n 与 Φ 成反比。若能够用某种方法使磁通 Φ 减少, 则 n 应该增大。该方法叫做减少励磁法, 如图 5.30 所示。为了使流过主电动机励磁绕组 (串励) Φ_s 的电流小于流过电枢的电流 I_a , 与串励绕组并联分流电阻。根据这一方法, 可以通过增加分流电阻的级数达到连续调节的目的。另外, 还能够减少起动时的电流冲击。

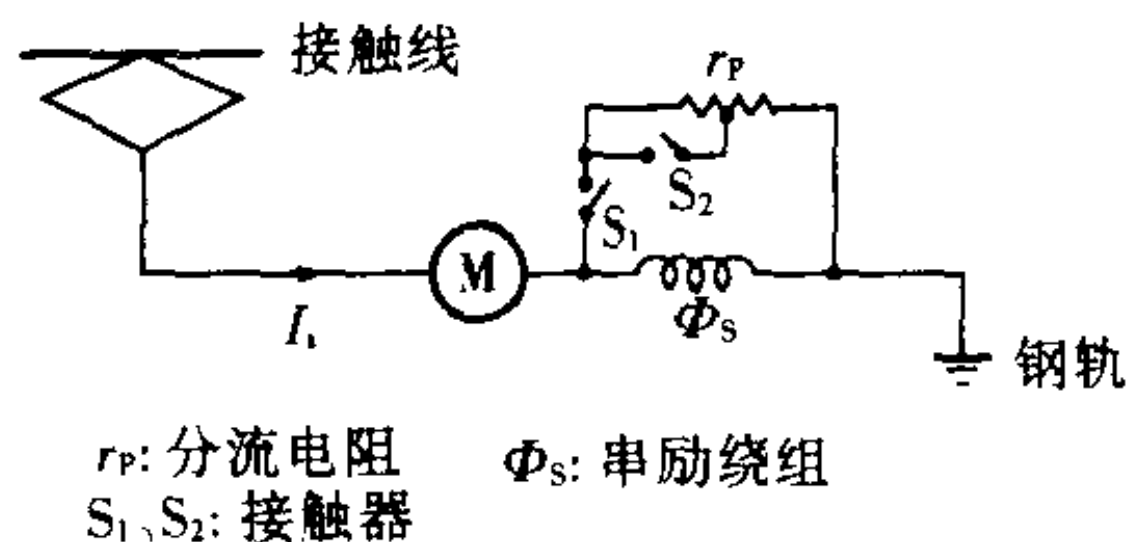


图 5.30 减少励磁法

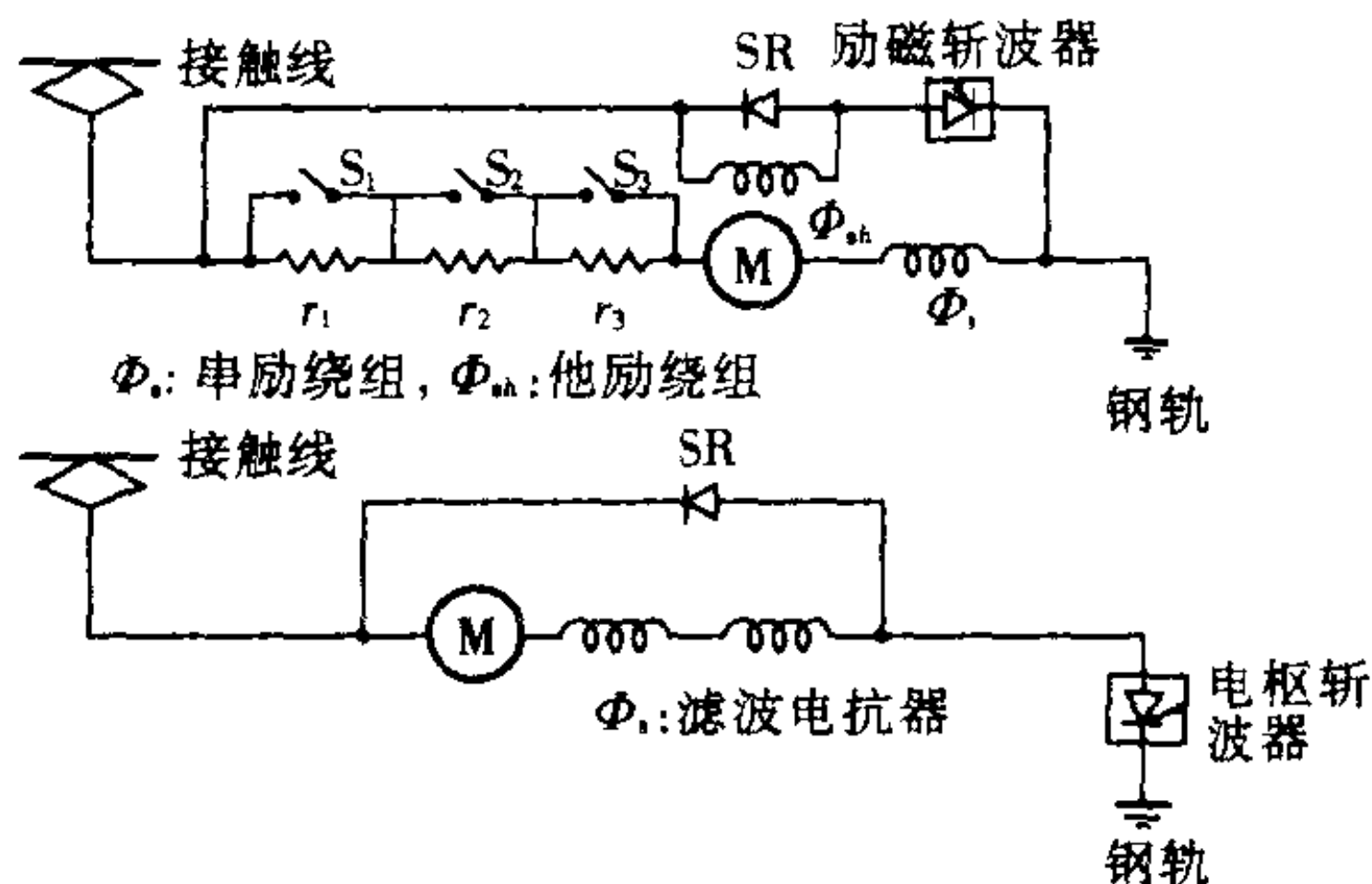


图 5.31 斩波调速法

(d) 斩波调速法

最近采用了利用半导体的斩波调速法。将斩波器用于励磁电流控制叫做励磁斩波调速,用于主电动机的电压控制叫做电枢斩波调速,如图 5.31 所示。若采用斩波调速法,就能进行能量反馈制动。另外,若利用电枢斩波调速,则这种调速法没有起动时串联电阻 R_0 引起的功率损耗($I_a^2 R_0$),效率高。

应用: 在地铁等条件下是有利的。

5.4.3 交流电力机车

交流电力机车因主电动机的种类而异。有一种是接受交流电后变换为直流利用直流电动机运行,另一种是直接将交流降压后利用交流整流子电动机运行。日本的交流电气化是将交流变换为直流后利用直流串励电动机运行。由于变换的直流不是完全的直流,而是含有少许的交流(脉动电流分量),因此叫做脉动电流电动机(参见图 5.32)。

(a) 交流电力机车的特征

一般不使用前述的直流电力机车那样的电阻调速或电压调速等。

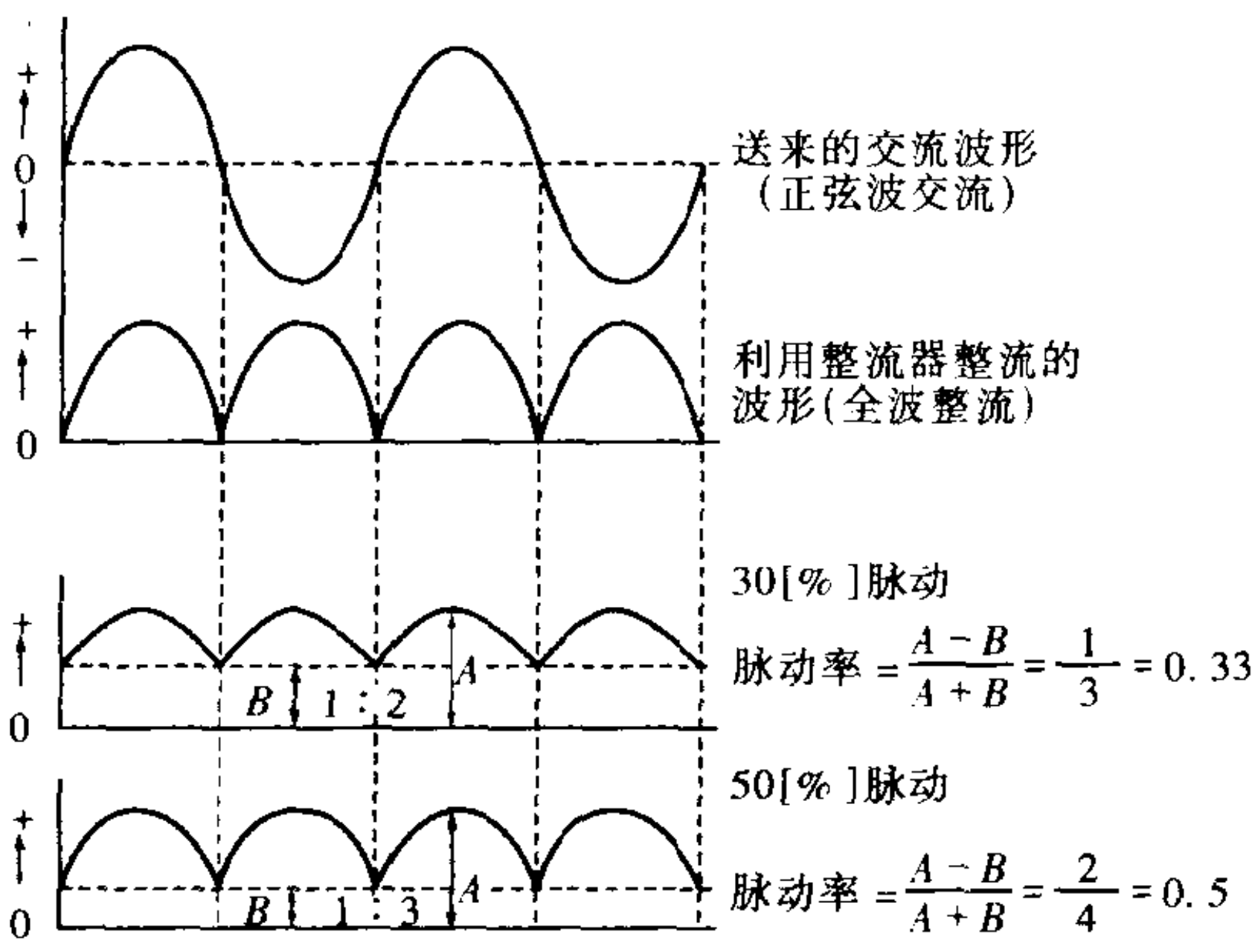


图 5.32 脉动率

(b) 交流电力机车的调速法

大致可分为分接头调速及相位调速，而分接头调速又可分为两种，即高压分接头调速及低压分接头调速。

由于性能上低压分接头调速较为有利，因此最近基本上采用低压分接头调速法(参见图 5.33)。

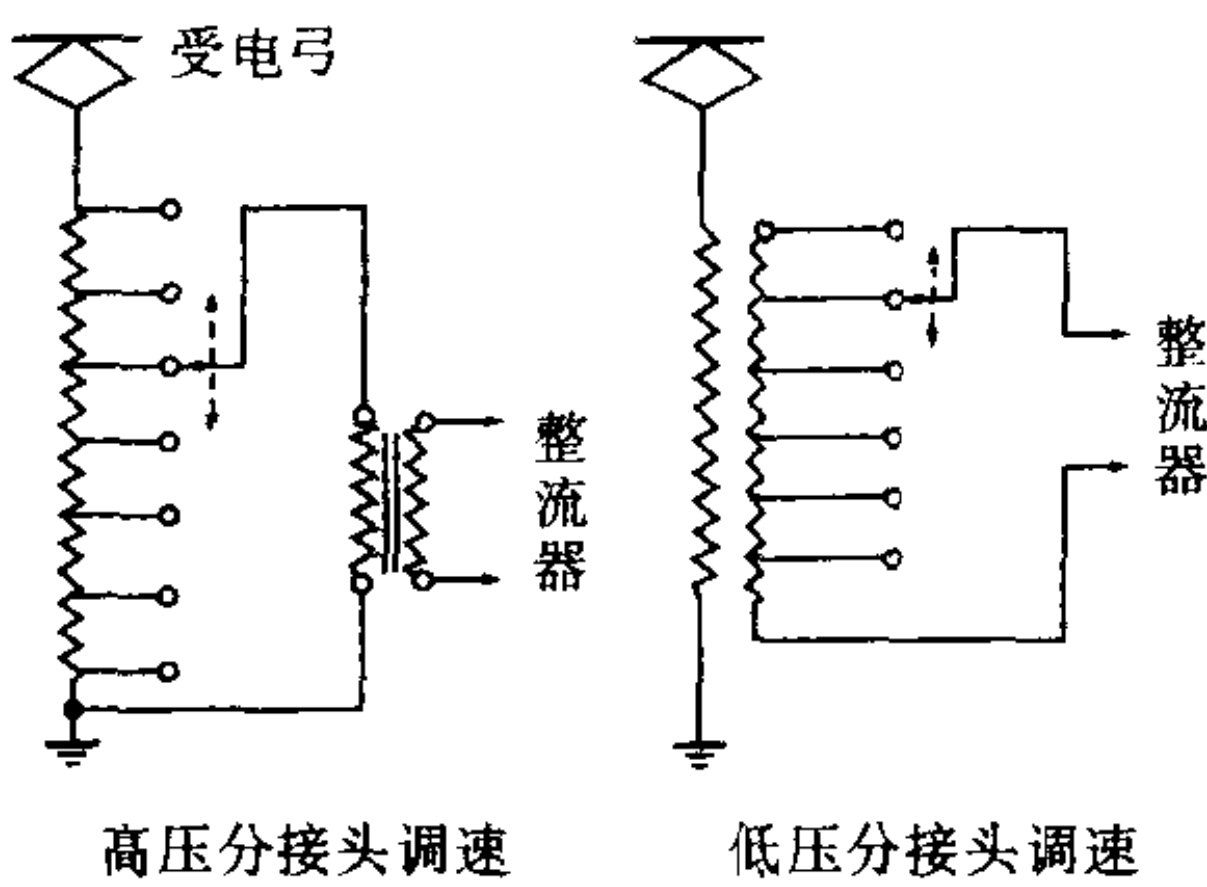


图 5.33 改变分接头调速的原理

(c) 相位调速法

该调速法在新干线 200 系列电车的主回路中采用。给晶闸管

(控制极)脉冲电流后,晶闸管导通。在阳极和阴极间电流为零的瞬间,晶闸管断开。调速时,每隔半波 $1/100\text{s}$ 使导通瞬间逐渐提前,则平均电压逐渐上升(参见图 5.34)。

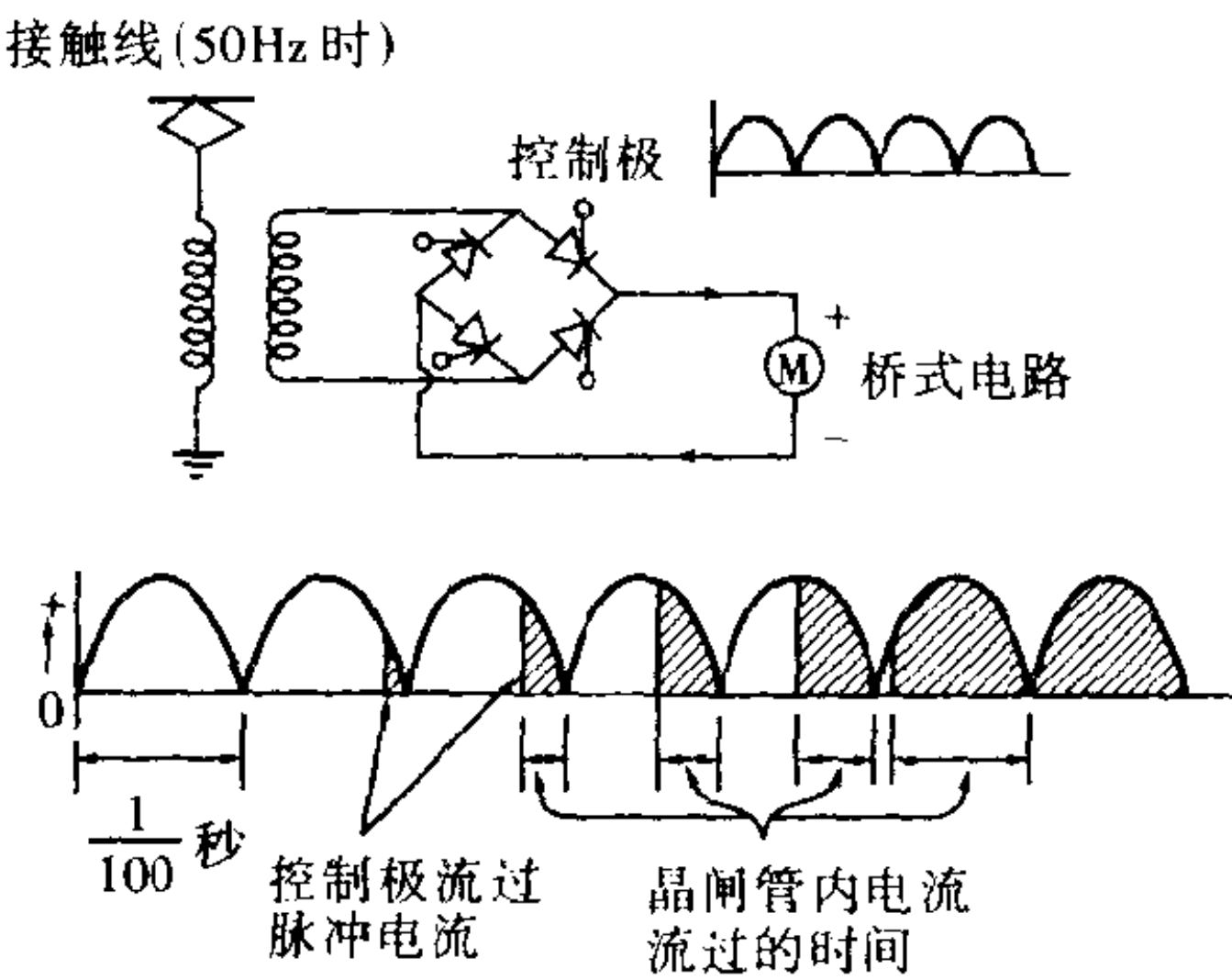


图 5.34 相位调速法

5.4.4 交直流两用电力机车

最初使用交直流两用电力机车是在原国铁常磐线的上野—胜田间,是 1961 年春天的事情。

交直流两用电力机车的机器是用两辆机车构成一组电气单元。因此,作为电力机车所必要的受电装置及电动机等必须放在车顶上或车厢下,使得尽可能不减少车厢内面积(参见图 5.35)。

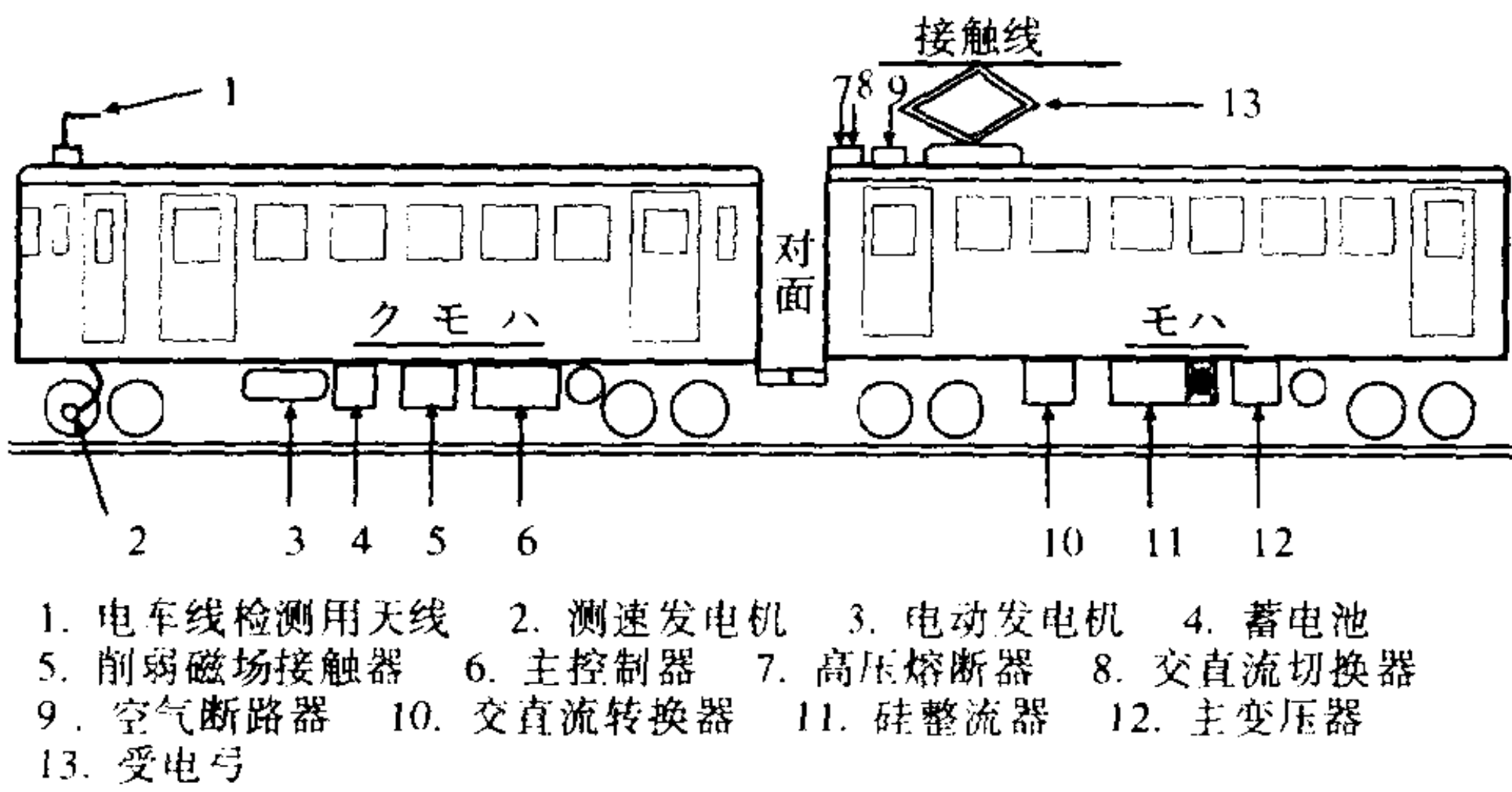


图 5.35 交直流两用电车的主要电气设备配置说明图

5.4.5 电力机车的控制

电力机车的控制是由牵引车进行统一控制。交直流两用电力机车的直流电路也与直流电力机车完全相同。调速方法采用电阻调速、串并联调速及励磁调速。后面要提到,能耗制动中的电阻控制也是用牵引车的主控制器进行。在交流区间,仅仅将 AC20kV 变换为直流 1500V, 由于没有必要设置控制用的分接头等, 因此构造简单(参见图 5.36)。

交直流两用电力机车在运行中采用切换电路的方式。当进入交直流切换分区时, 用驾驶台的切换装置将整个列车的 ABB(空气断路器)一起切断→在滑行到无电区间即切换主电路→一旦进入不同电压区间即每个单元分别接通电路。该操作是利用车顶上的交直流切换器进行(参见图 5.36)。

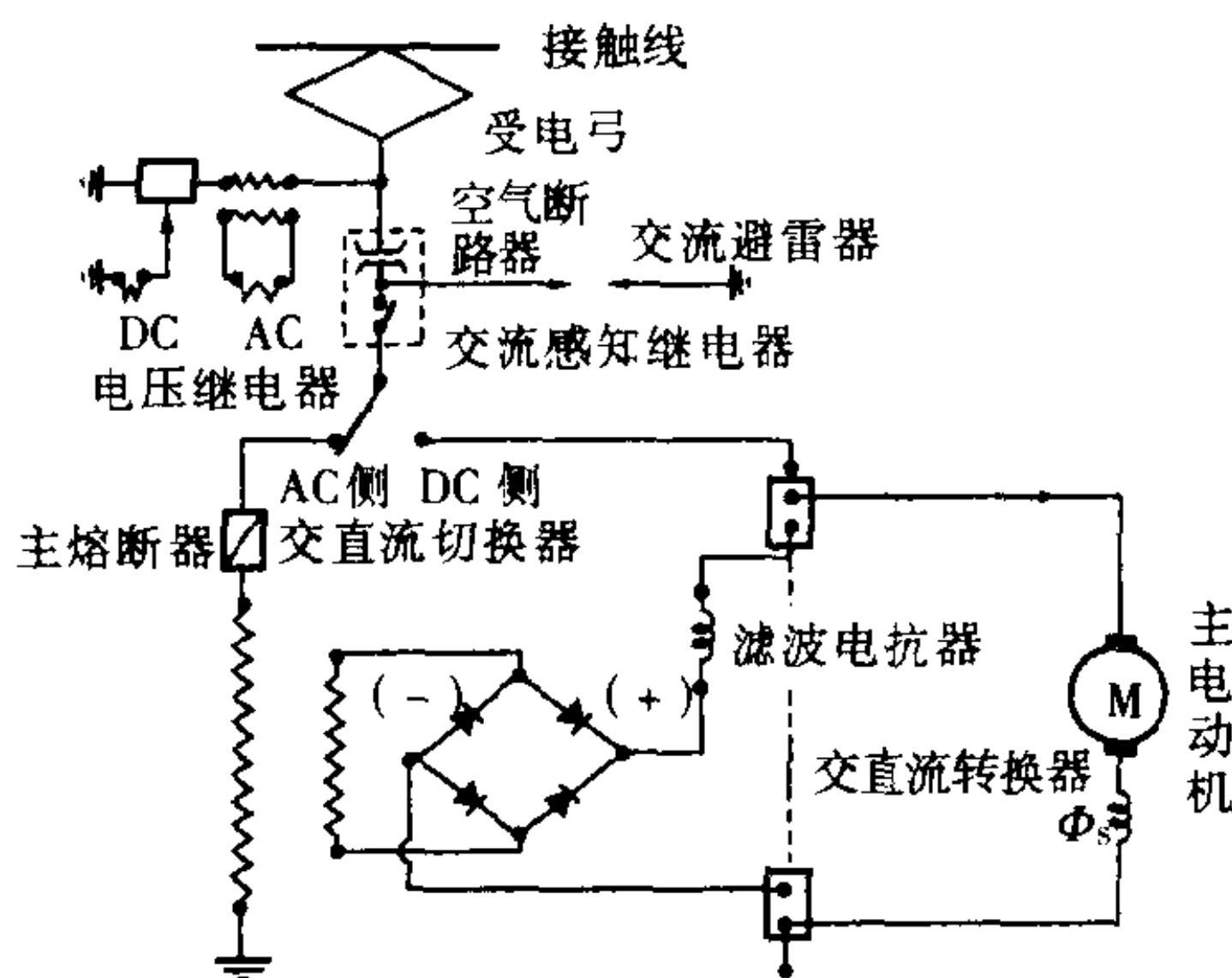


图 5.36 交直流切换电路

5.4.6 制动装置

当要使运行中的车辆停在目标位置时, 或者在下坡等情况下, 列车速度有上升的危险时, 就必须降低速度。这是利用制动装置进行的(参见图 5.37)。

(a) 人力制动

(b) 空气制动

- 直通空气制动
- 自动空气制动
- 电磁直通制动

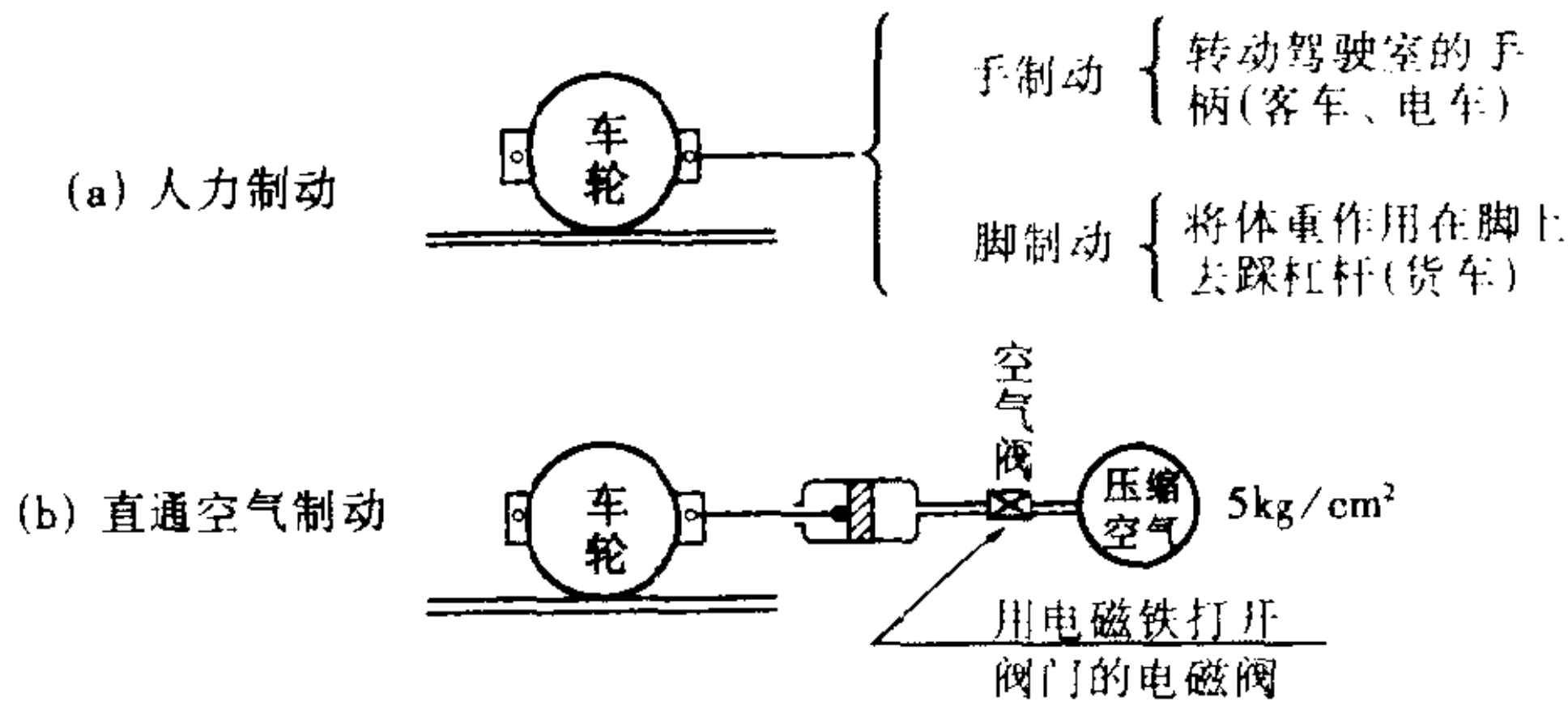


图 5.37 制动装置

(c) 电气制动

① 能耗制动

电力机车滑行中，将主电动机作为发电机使用，将其电能作为电阻中的热能消耗掉(参见图 5.38)。

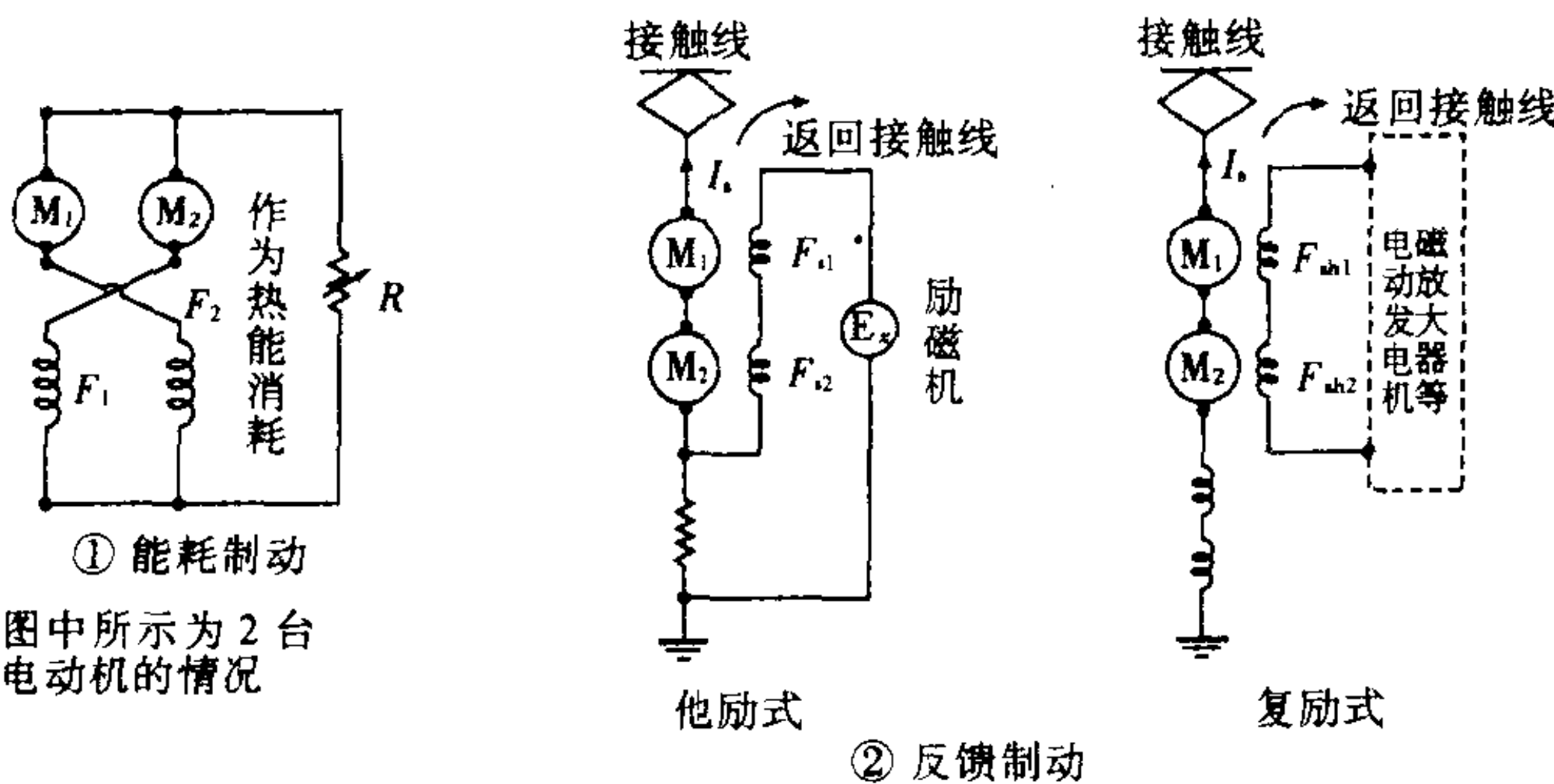


图 5.38 电气制动

② 反馈制动

电车在下坡运行中，将主电动机作为发电机使用，起制动器作用。发电输出的功率返回接触线一侧。最近还出现了在平地滑行中也能将其能量作为电能反馈用来进行制动的电车（参见图 5.38）。

③ 自动空气制动

对于将许多车辆连接起来的列车，则在车辆间用空气管道连接，一旦一个地方进行操作，整个列车被制动。另外，当由于事故

等原因，连接器被切断，列车分离，在这种情况下，则采用自动空气制动方式来自动进行制动(参见图 5.39)。

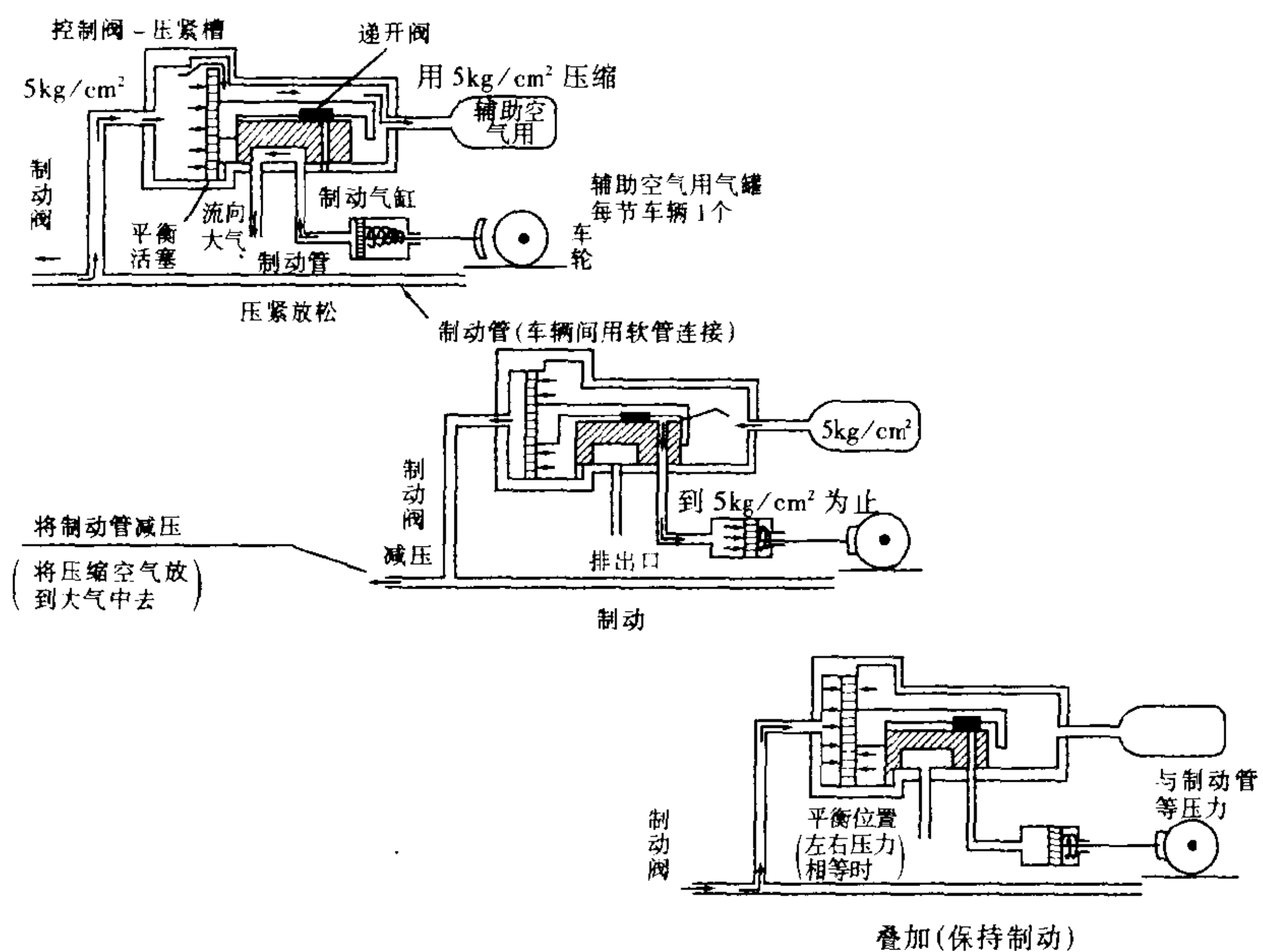


图 5.39 三通阀的原理(自动空气制动装置)

5.5 信号与安全

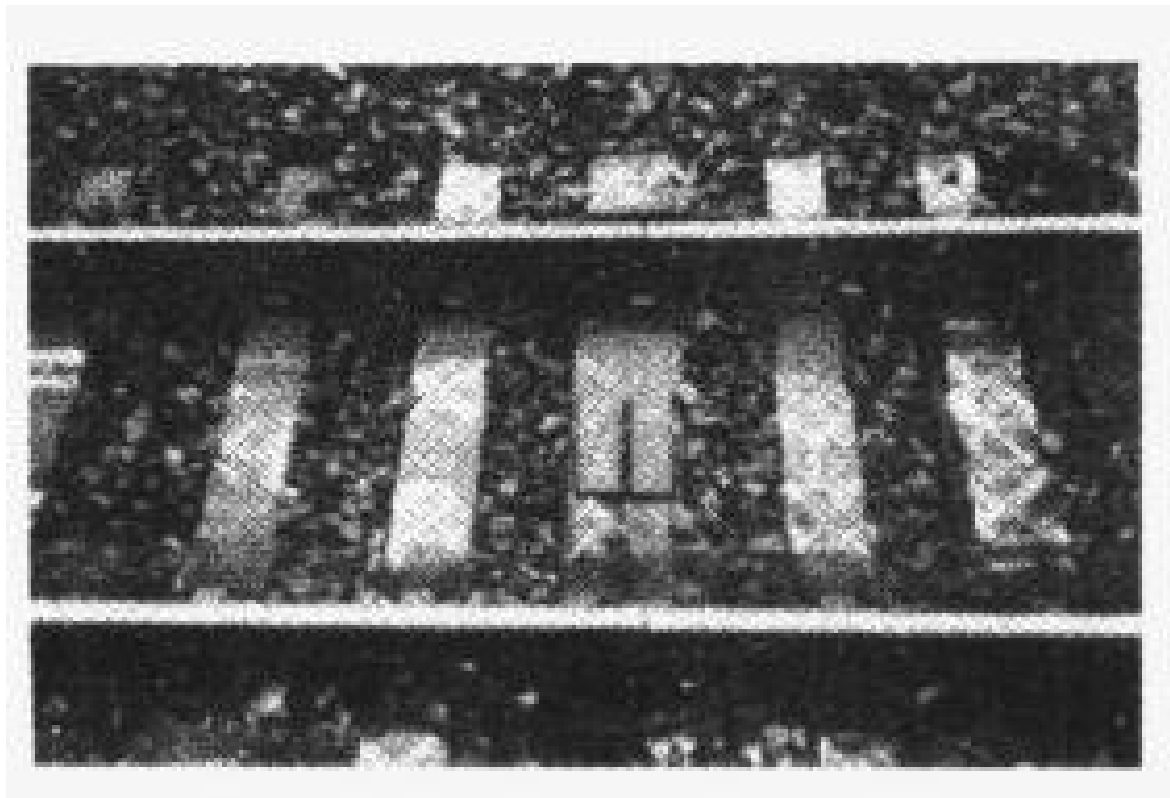


图 5.40

为了作为地面信号机回路使用，要每隔一定区间，将钢轨接缝加以电气绝缘(参见图 5.40)。

在直流电气化区间，由于钢轨中流过回流，因此在钢轨绝缘的地方，要敷设阻抗板，以便使直流分量流过，而切断信号电流的交流电流(参见图 5.41)。

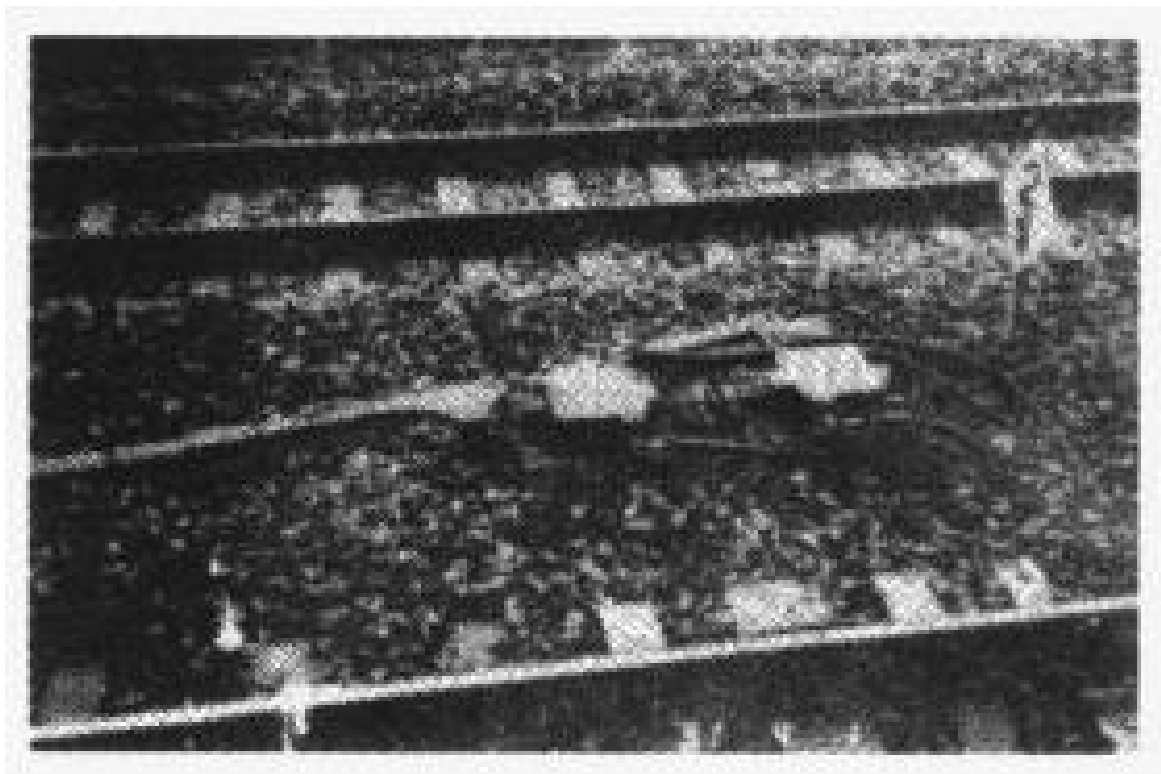


图 5.41

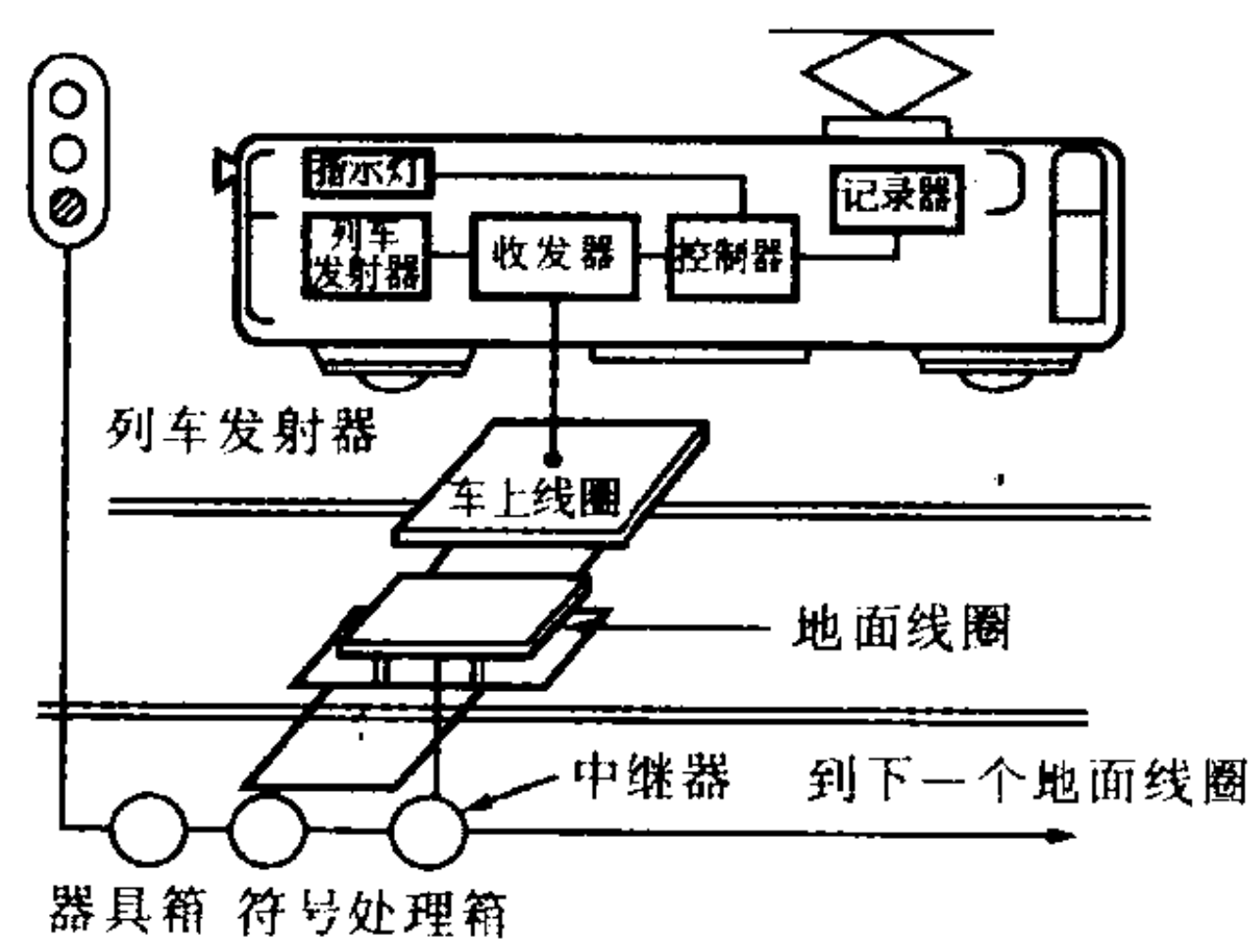


图 5.42 ATS-P 型的概要

近年来，防止列车事故用的 ATS 装置非常普及。ATS 用的地面线圈敷设在钢轨的大致中央部位 (参见图 5.42)。

5.5.1 铁道信号

(a) 闭塞方式

为了确保铁路的安全运输,必须适当保持列车的相互间隔。在城市电车那样速度较慢的情况下,只要将发车间隔保持一定时间间隔即可。在高速列车的情况下,要将线路划分成一定距离的间隔。对于列车次数较少的区段,该距离以车站与车站之间为单位。而对于列车次数较多的区段,则将车站与车站之间划分为几个区间。该划分的区间叫做闭塞区间,在该闭塞区间内,只让一列列车进入。在列车运行中,必须一面运行,一面确认在下一个闭塞区间内要没有其他的列车(参见图 5.43)。

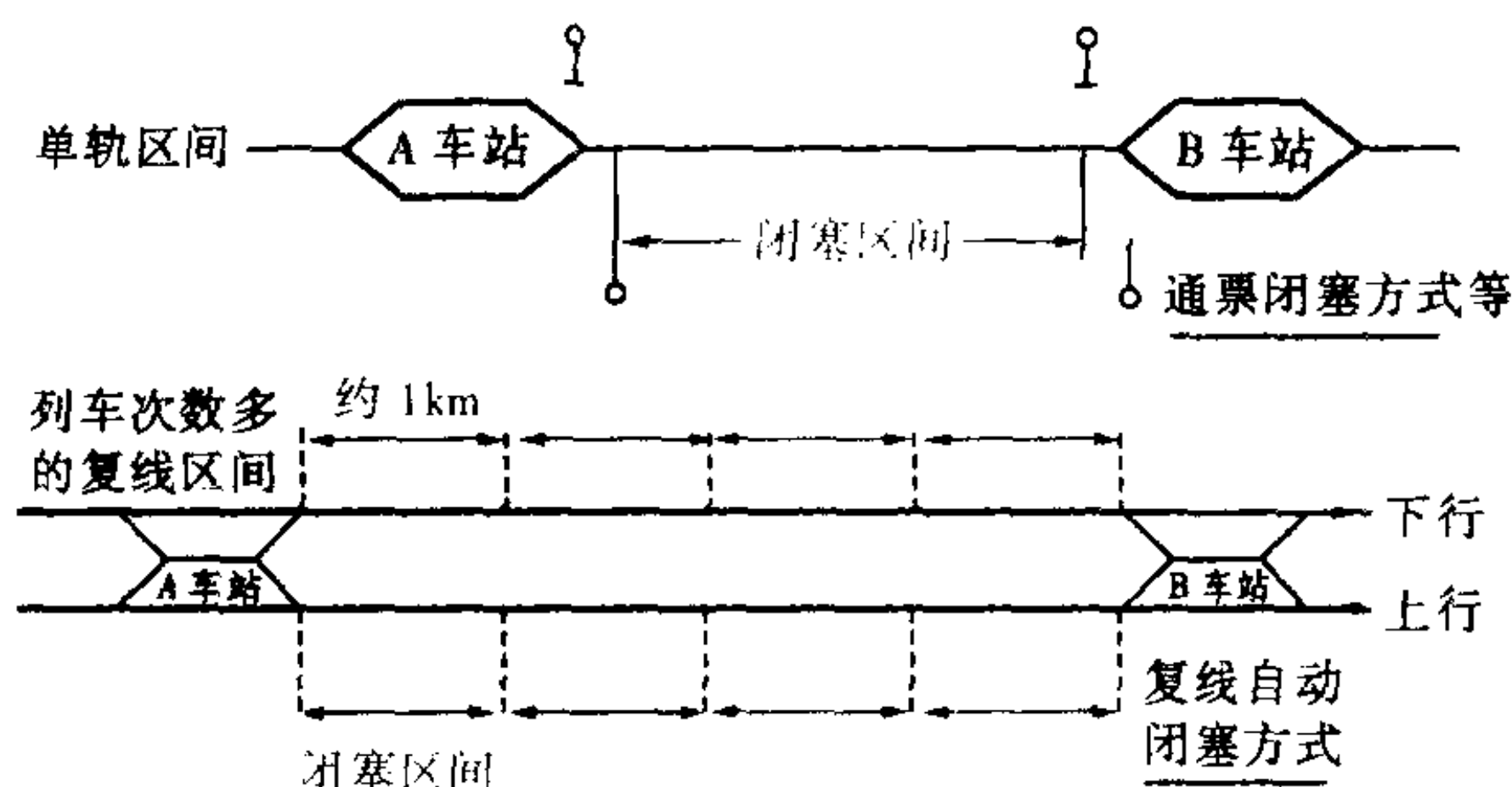


图 5.43 闭塞区间及闭塞方式

(b) 单轨区间的闭塞方式

在单轨区间的列车运行中,由于不仅有追尾危险,还有正面碰撞的危险,因此在两车站对于列车的出发必须制定一定的规则来运行。在日本,一直以来采用的是通票闭塞方式(路签方式,参见图 5.44)。而近年来,在运输量多的线路都实现了自动化。

(c) 信号机的种类

信号装置是用形状、颜色、声音等向司机指示或传达运行条件、意图及场所状态等。

主要信号机由下列方式组合而成(参见图 5.45):

- { 色灯式——绿·黄·红
- { 灯列式——白色电灯

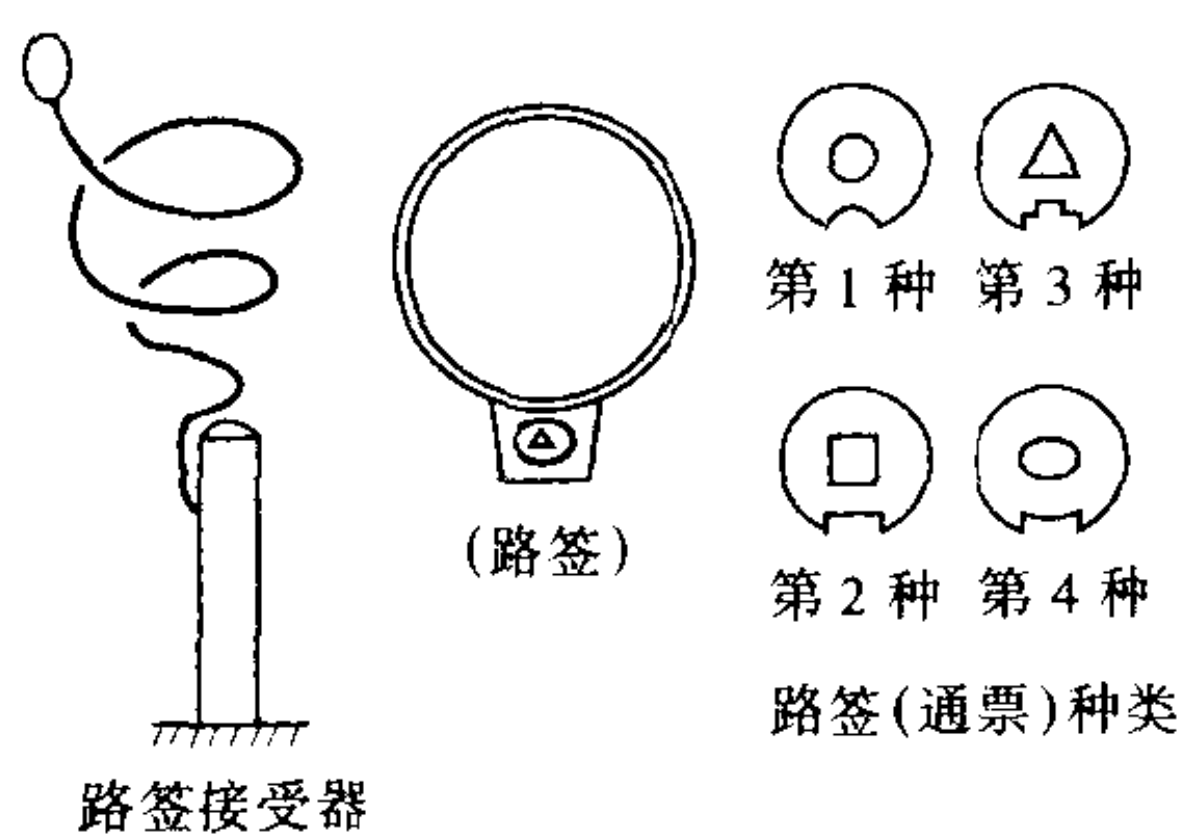


图 5.44 路签

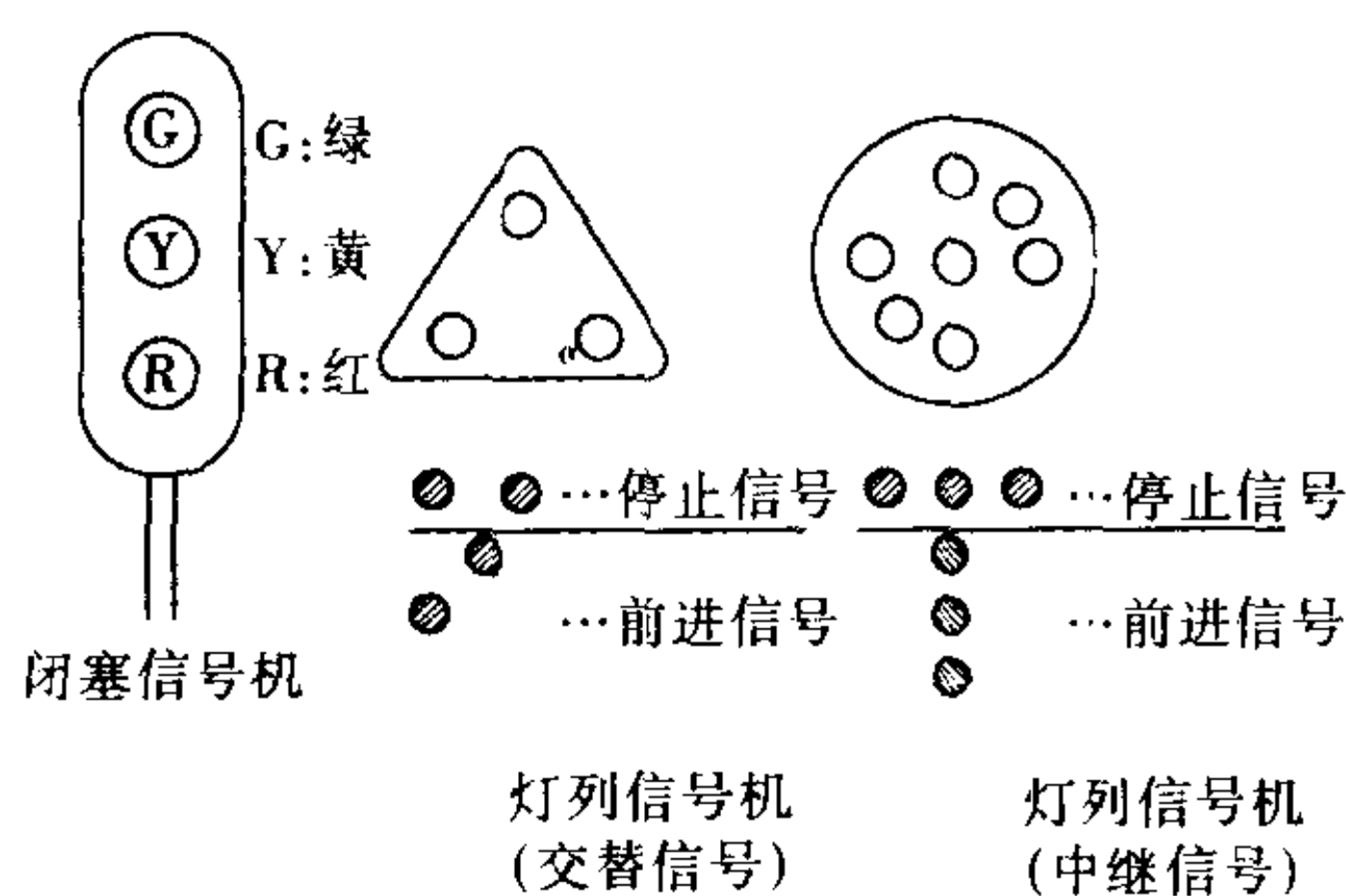


图 5.45 信号机举例

5.5.2 自动信号装置

自动信号装置是前述闭塞方式中用地面信号机自动显示下一个区间没有列车的方法。

(a) 轨道回路

将钢轨划分成适当的间隔，钢轨接缝加以电气绝缘。绝缘物使用与钢轨截面相同形状的绝缘物。在该钢轨之间供给 3~5V 的电压(参见图 5.46)。

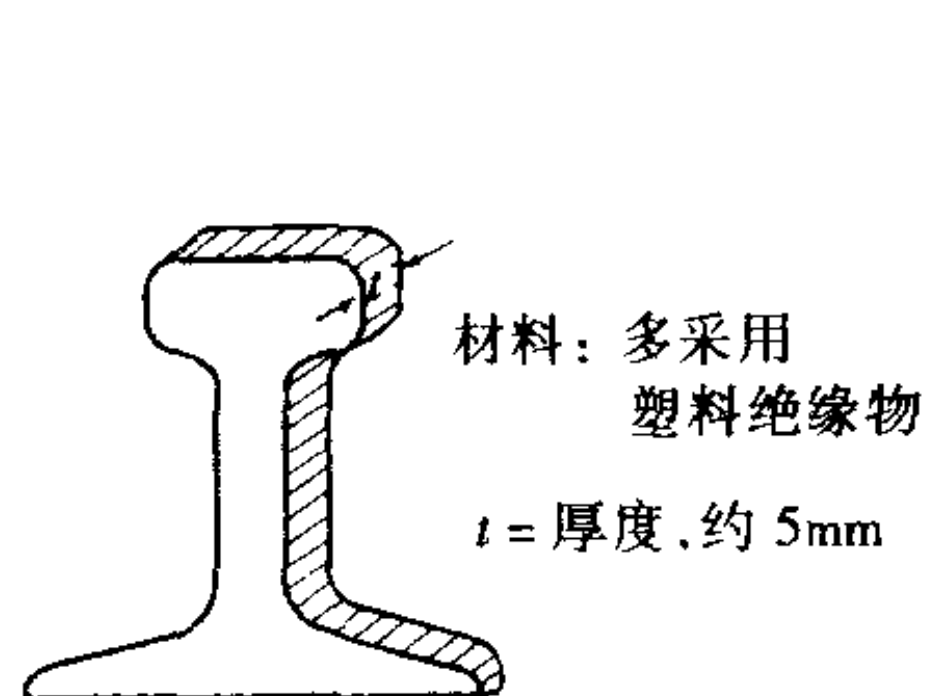


图 5.46 钢轨绝缘物

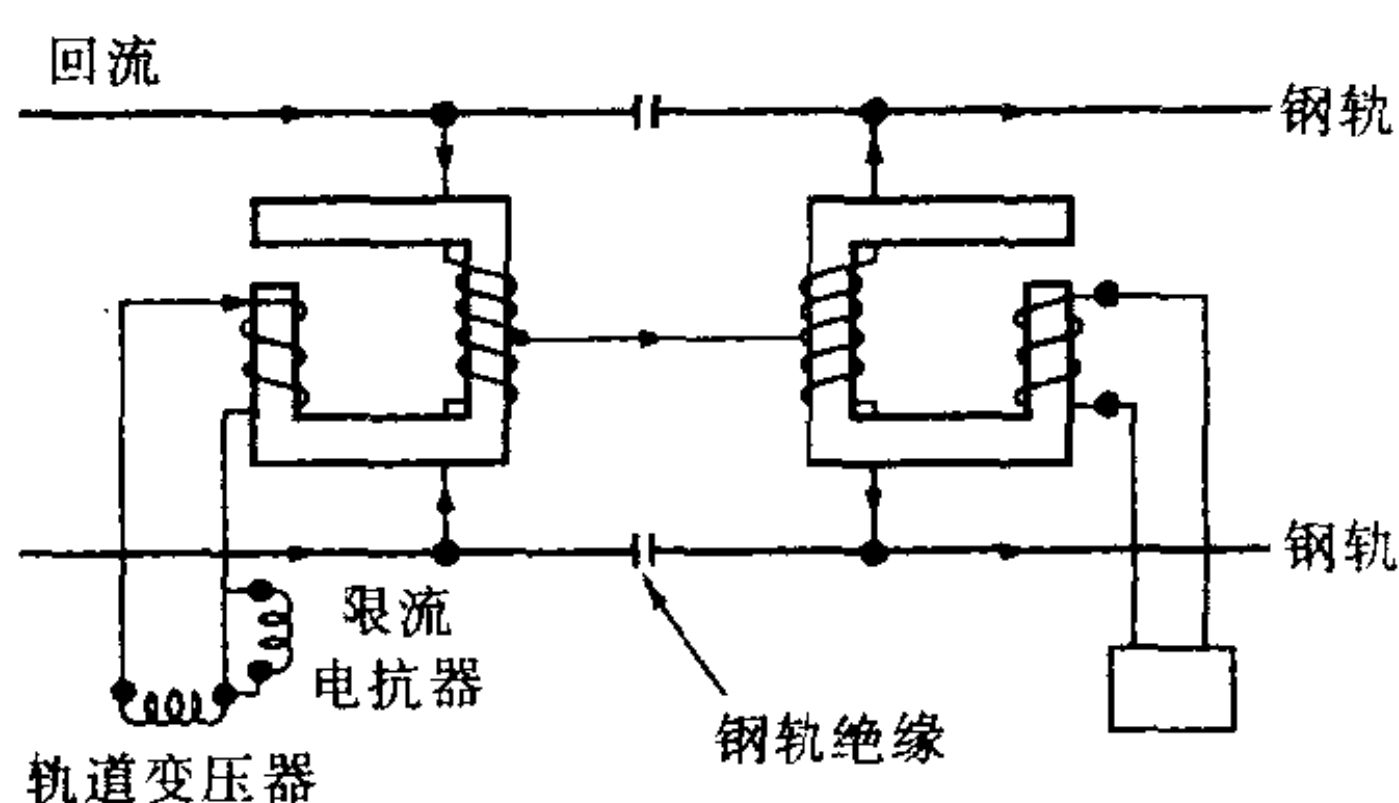


图 5.47 阻抗板

(b) 阻抗板

在直流电气化区间, 由于钢轨中流过回流, 因此在钢轨的绝缘部分要能流过该回流, 但又必须能切断信号电流。该装置就是阻抗板。图 5.47 所示为该装置。该装置在绝缘的地方对直流是低电阻, 对交流的信号电流变为高阻抗。交流频率使用工频的 50Hz 或 60Hz。

(c) 自动信号机电路

图 5.48 所示为前进 - 注意 - 停止的三位式自动信号机电路的例子。电源从轨道沿线敷设的高压电线供电。

5.5.3 安全装置

如前所述, 即使设置信号装置, 但当浓雾、下雪等恶劣天气时, 或由于乘务员不注意等没有确认停止信号时, 则会发生追尾等事故。防止这样的事故的装置是 ATS 装置。

(a) 自动列车停止装置(ATS)

在图 5.49 中, 当后续列车在红色信号情况下进入时, 就在红色信号前面的一定距离内利用地面线圈(敷设在钢轨中央部分的发射器)发射信号电波, 用车上线圈(在电车上的接收器)接收信号。在用接收器对信号进行放大及确认之后, 直接对乘务员通过报警铃及车内信号灯的闪烁进行报警。当进一步无视该信号而进入时, 则紧急制动器动作, 使列车停止, 以防止追尾(参见图 5.49)。

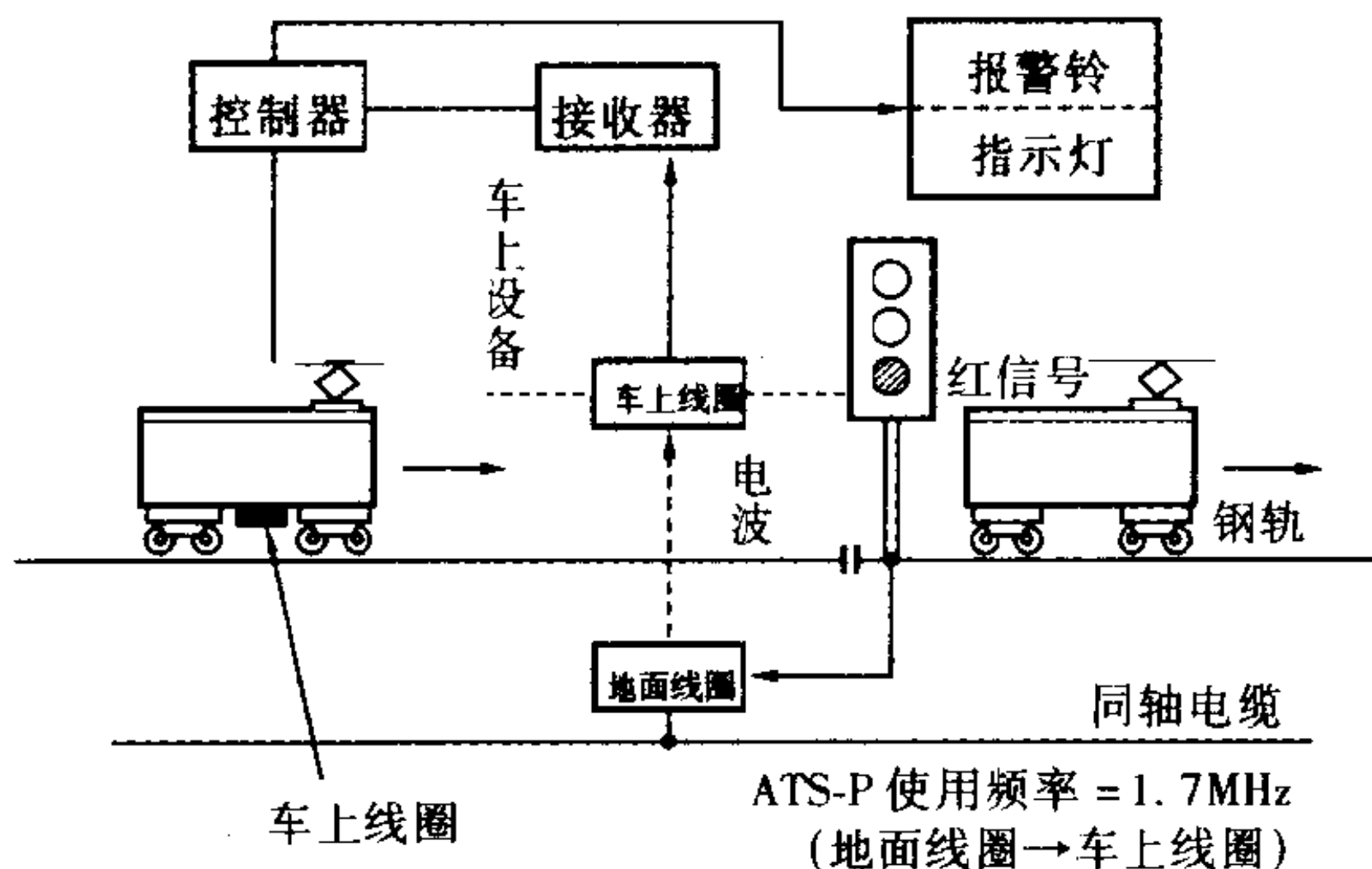


图 5.49 ATS 装置

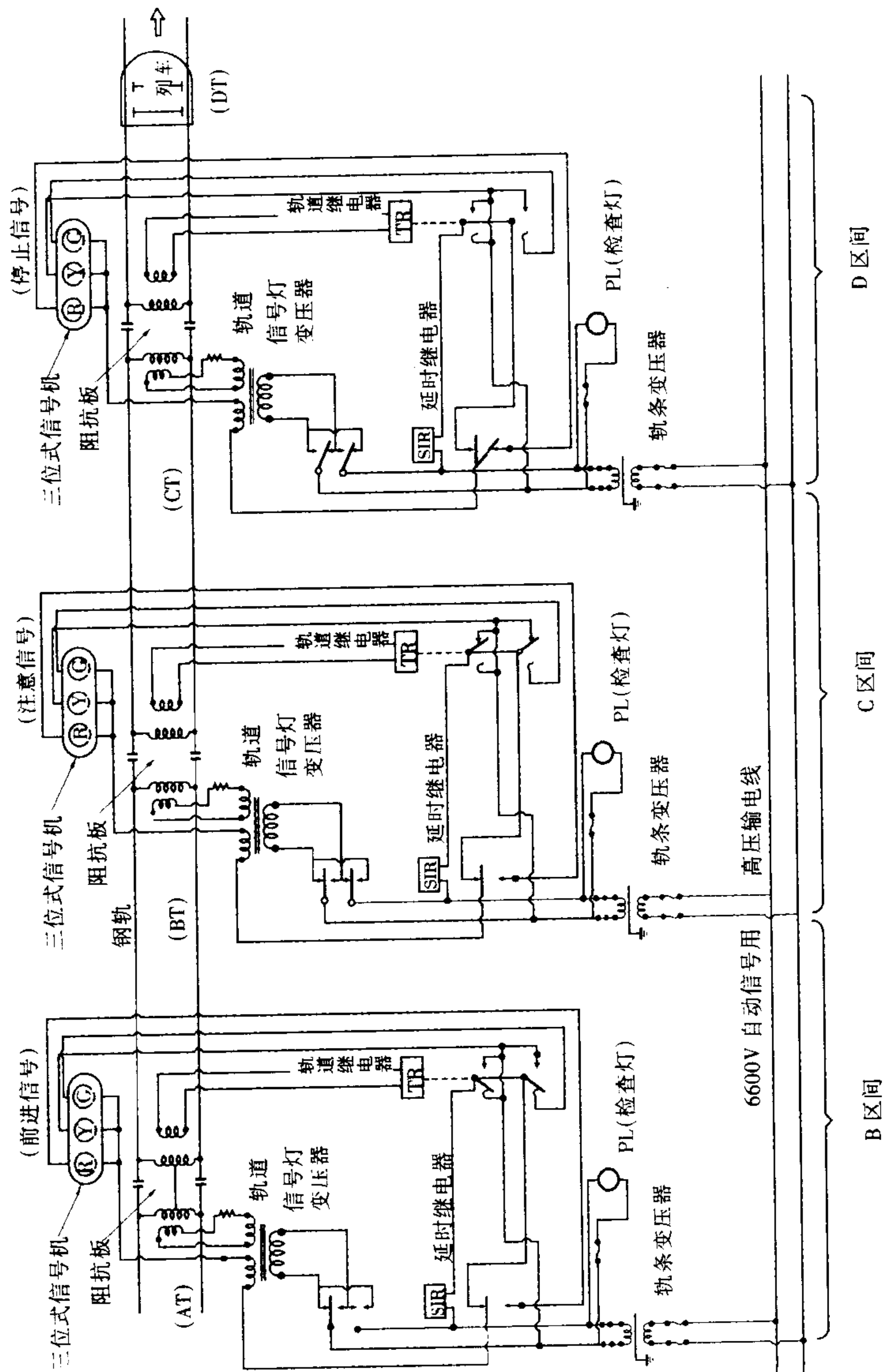


图 5.48 三位式自动信号电路

(b) 自动列车控制装置(ATC)

如前所述的地面信号机的确认距离为 600 ~ 800m。在恶劣天气时，确认距离就更短，安全运行困难。ATC 装置由于是车内信号，因此即使是恶劣天气，也能够将信号清楚地传达给司机。当自己的列车一旦靠近前面的列车，则将与前面列车的距离、自己列车的速度及制动距离对照，该装置就将列车速度自动控制在规定值以下。JR 的代表性装置应用于新干线，而最初是在常磐线（绫濑站—我孙子站间）敷设。现在 ATC 装置也应用于总武线、山手线、京滨东北线的电车区间（参见图 5.50）。

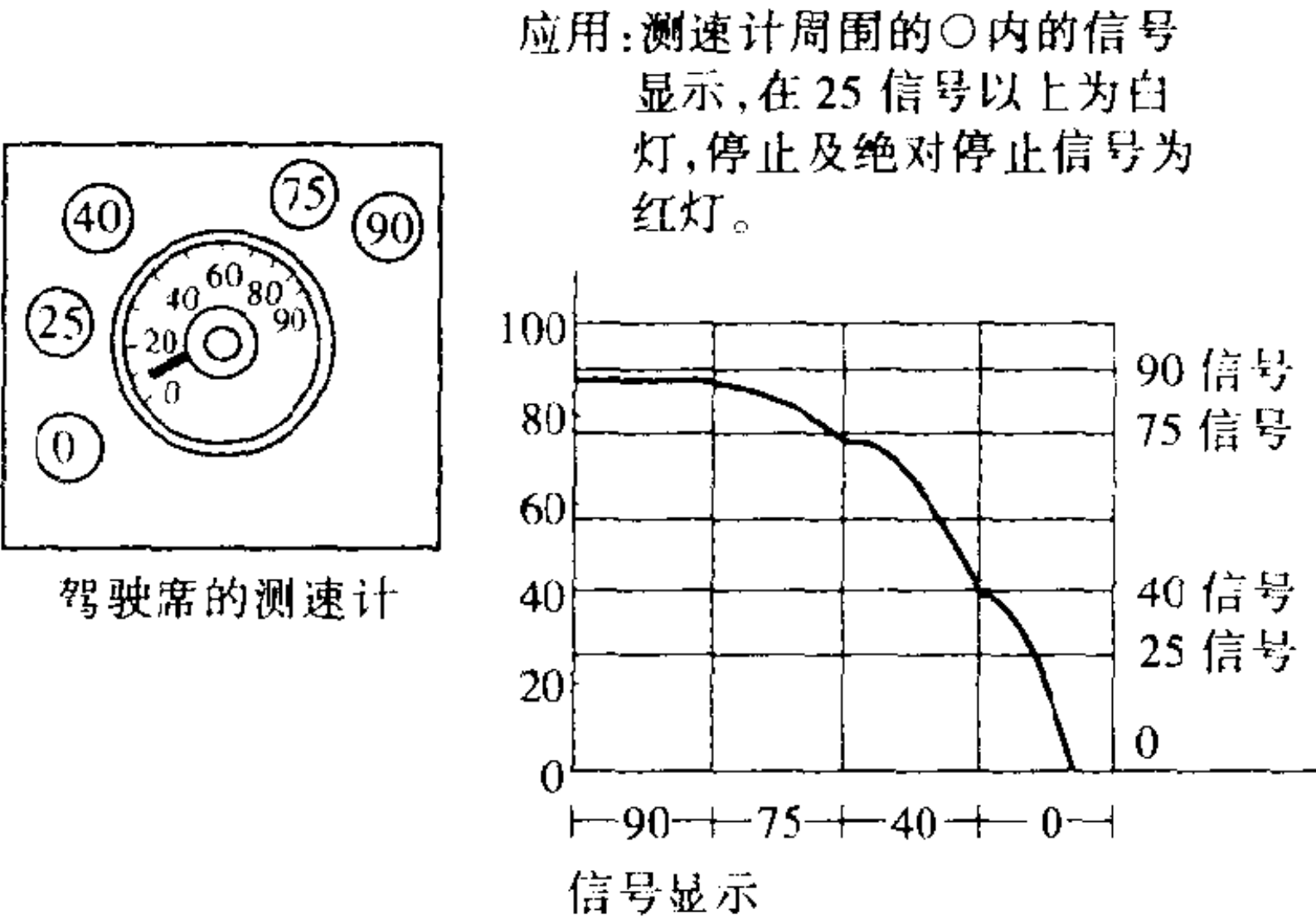


图 5.50 车内信号举例(常磐线的例子)

5.6

新干线铁道

板式轨道在山阳新干线新大阪—冈山间的一部分最先试用。然后,在东北及上越新干线大量采用。其优点是坚固、稳定性好,适合于高速运行、大幅度减轻维护作业(参见图 5.51)。

长钢轨因气温高低差别而产生很大的伸缩,因此钢轨接缝采用如图 5.52 所示的方法。

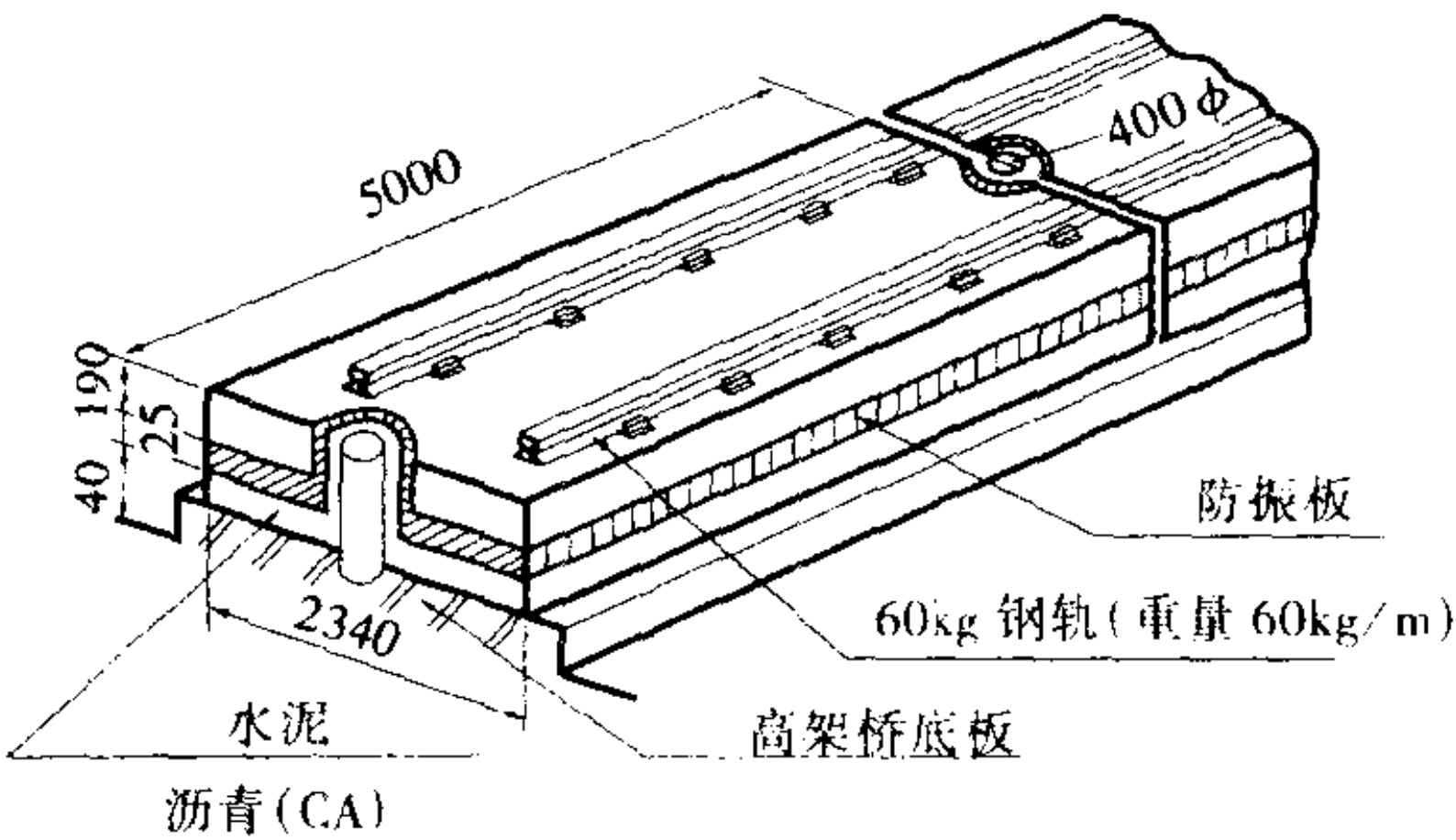


图 5.51 板式轨道的构造

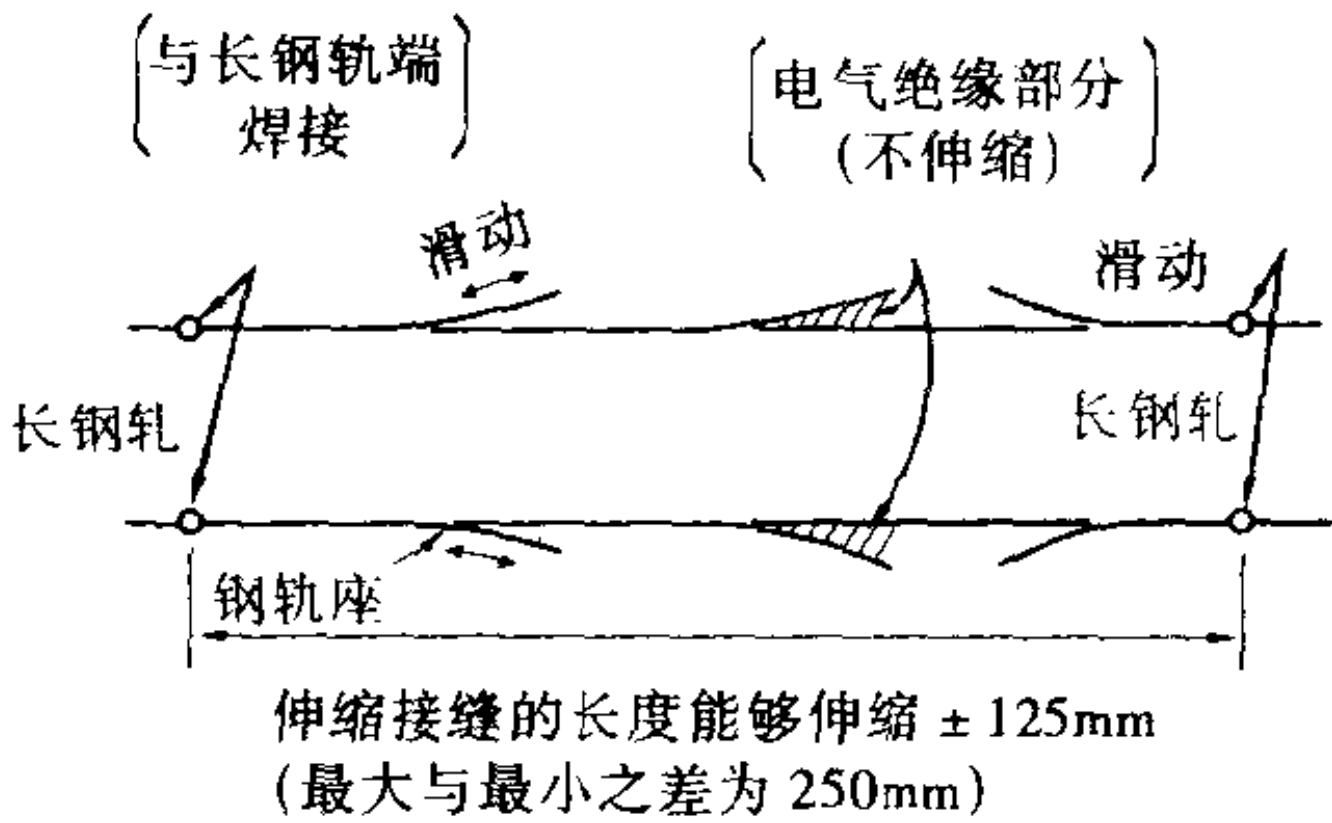


图 5.52 长钢轨及伸缩接缝的结构

5.6.1 新干线铁道的特征

(a) 轨距为标准轨道

从原国铁继承下来的 JR 原有线路的轨距,如前所述为窄轨(1067mm),新干线采用标准轨道(1435mm)。再有,建筑界限(车辆在线路上运行时不与周围任何建筑物接触的空间最低限度范

围)及车辆界限(将车辆截面尺寸限制在一定大小范围的界限)比现有线路要大。钢轨采用长钢轨,其长度的标准为1200~1500m。

(b) 轨道

新干线的轨道采用图5.6所述PC轨枕及图5.51的板式轨道。PC轨枕必须将道碴(碎石)作为道床,而板式轨道是具有永久寿命的混凝土板,因此具有下列优点:①由于稳定性好,因此适合于高速运行。②由于不需要对PC轨枕区间那样的轨道进行频繁的修正,因此能够节省劳动力(参见图5.51)。板式轨道在山阳新干线部分试用,然后在东北及上越新干线正式采用。

(c) 最高速度为275km/h

东海道新干线是以最高速度220km/h运行在东京—新大阪间515km的高速铁路。完全没有道口,全部为立体交叉。东北—上越新干线进一步提高速度,以275km/h最高速度运行。

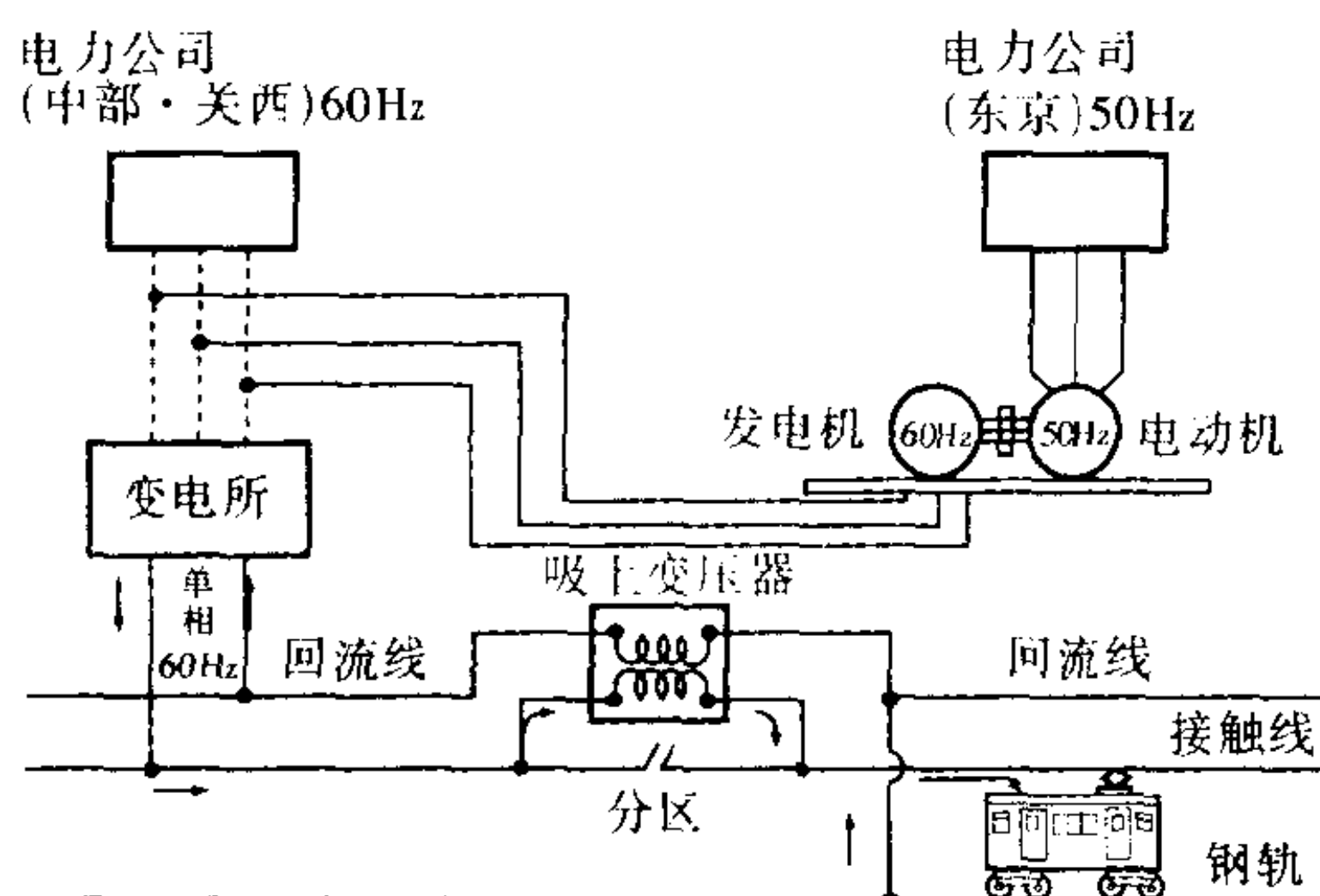


图 5.53 在 50Hz 及 60Hz 地区的电力供给设备

(d) 电气方式为 AC25kV

新干线采用25kV,使得比原有线路能够得到更大的电力。在东海道新干线建设时,因供给电力的送电范围通过50Hz及60Hz的地区而决定采用60Hz。在50Hz区间的东京—富士川130km间,用电动发电机将50Hz变换为60Hz使用(参见图5.53)。

(e) 采用ATC及CTC

信号方式采用ATC(自动列车控制方式)代替地面信号机,以

便能够高速而且安全运行。另外，通过车站进行的列车运行管理设置了 CTC(列车集中控制装置)。该装置设在综合调度所，地点在靠近东京车站范围内。另外，东北—上越新干线的调度所为了有机地与东海道—山阳新干线一起发挥作用，也新设在东海道新干线综合调度所的旁边。

5.6.2 新干线的电车

(a) 单元及 MM'方式

新干线的车辆全部为电动车。所谓 MM'方式，是将两辆车辆在电气上作为一个单元，将机器重量分配给各车辆，将机器分别配置在车厢下(参见图 5.54)。

(b) 电气回路

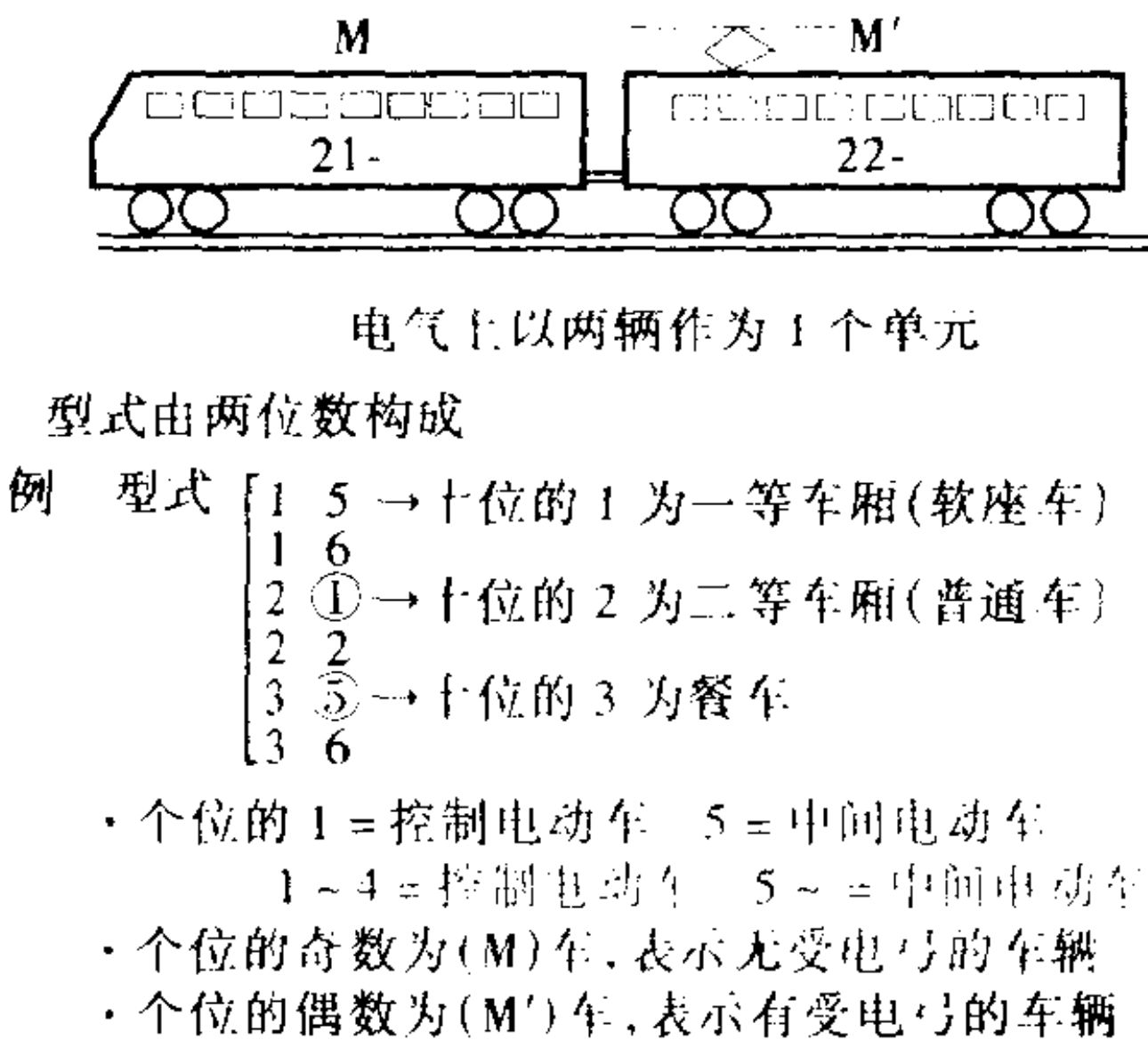


图 5.54 单元 MM'方式

新干线利用受电弓接受交流 25kV 的电压,通过 VCB(真空断路器)的投入,将电压加在主变压器一次侧。主电动机与变压器二次侧绕组电路相连。三次侧绕组电路是辅助机器电路。

(c) 主电动机电路

司机一旦操作主控制器的手柄,则根据其换挡位置,低压分接头切换器动作。接着,选择主变压器二次侧绕组的分接头,并根据分接头而降压。再将降压的交流供给硅整流器。用硅整流器将交流变换为直流,供给两辆车厢的八台主电动机,电力机车进行

动力运行。调速方法是利用电压调速进行，因此主电动机的连接与直流电力机车不同，每辆车厢的四台主电动机始终串联连接(参见图 5.55)。

(d) 受电弓

由于新干线的架空线高度基本保持一定，因此只要较小的作用高度即可。所以，受电弓约为原来的 1/2，体积小，重量轻。

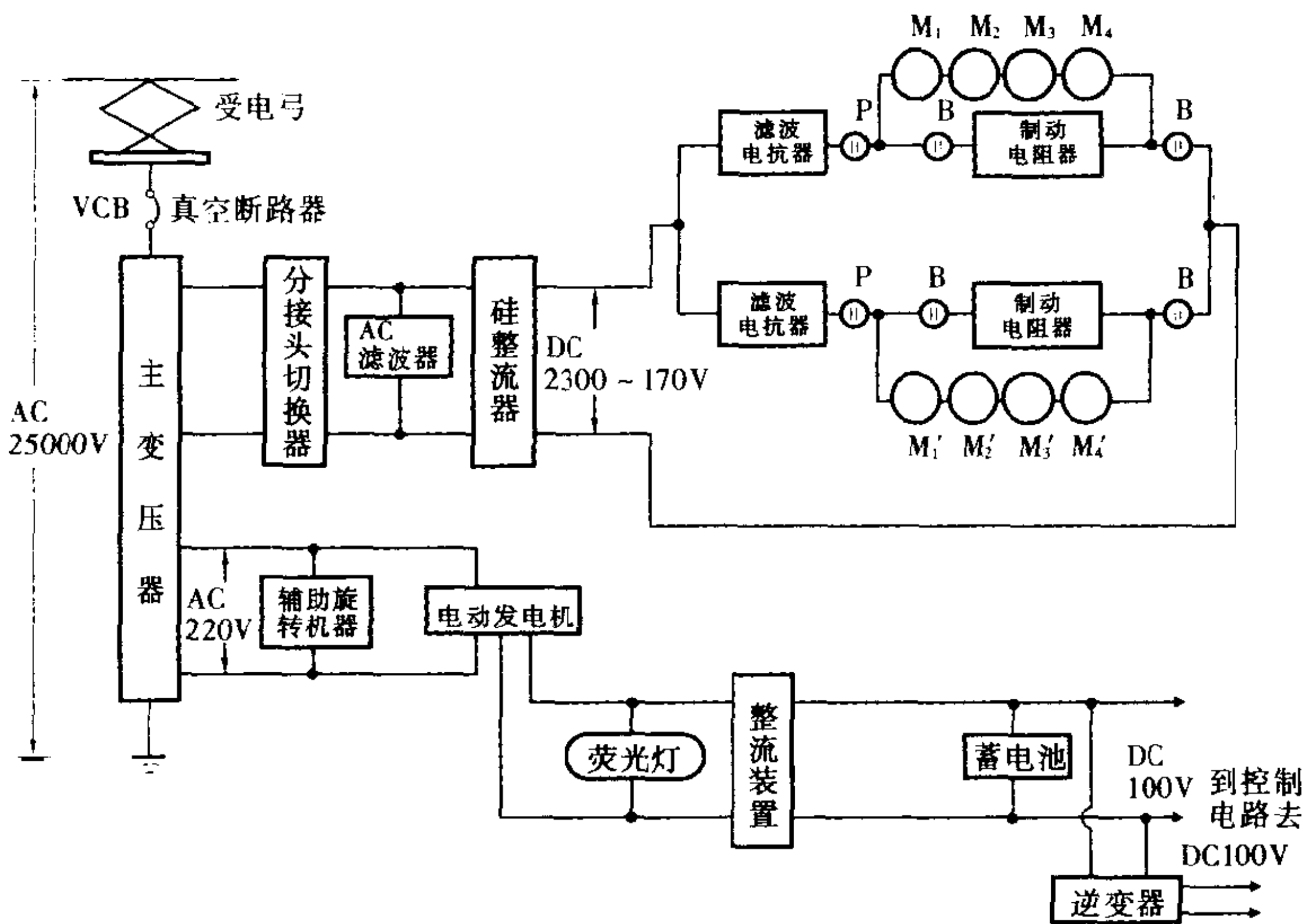


图 5.55 主电路图

5.6.3 交流馈电系统的构成

(a) BT 馈电方式

BT 方式 (Booster Transformer 方式的简称) 是将从变电所经由接触线送来的电流再经由受电弓→电车→使主电动机旋转→钢轨→回到变电所的一种方式。这时，回流的一部分从钢轨向大地泄漏，对通信线造成噪声等感应干扰。BT 方式是采用 BT(吸上变压器) 强制将流过钢轨的回流吸上而减少向大地泄漏的电流，防止感应干扰。该方式在东海道新干线的建设中被采用。吸上变压器的设置间隔，在都市近郊为每隔 1.5km，其它为每隔 3km。在设置吸上变压器的地方，必须设置将接触线分离绝缘用的区段。但

当通过该区段时，在受电弓上会产生很大的电弧。新干线由于电压高及电流大，因此有熔断损坏接触线的危险，所以通过与该区段并联电阻来防止这种情况(参见图 5.56)。

(b) AT 方式

在山阳新干线以后的新干线上采用没有该分离区段的 AT 方式(Auto Transformer 方式的简称)。该方式是在 AT 馈电线与接触线间连接自耦变压器(AT)，将自耦变压器的中点与钢轨相连。为了确保接触线的电压，AT 馈电线的电压设定为两倍的电压。自耦变压器的设置间隔为约 10km(参见图 5.57)。

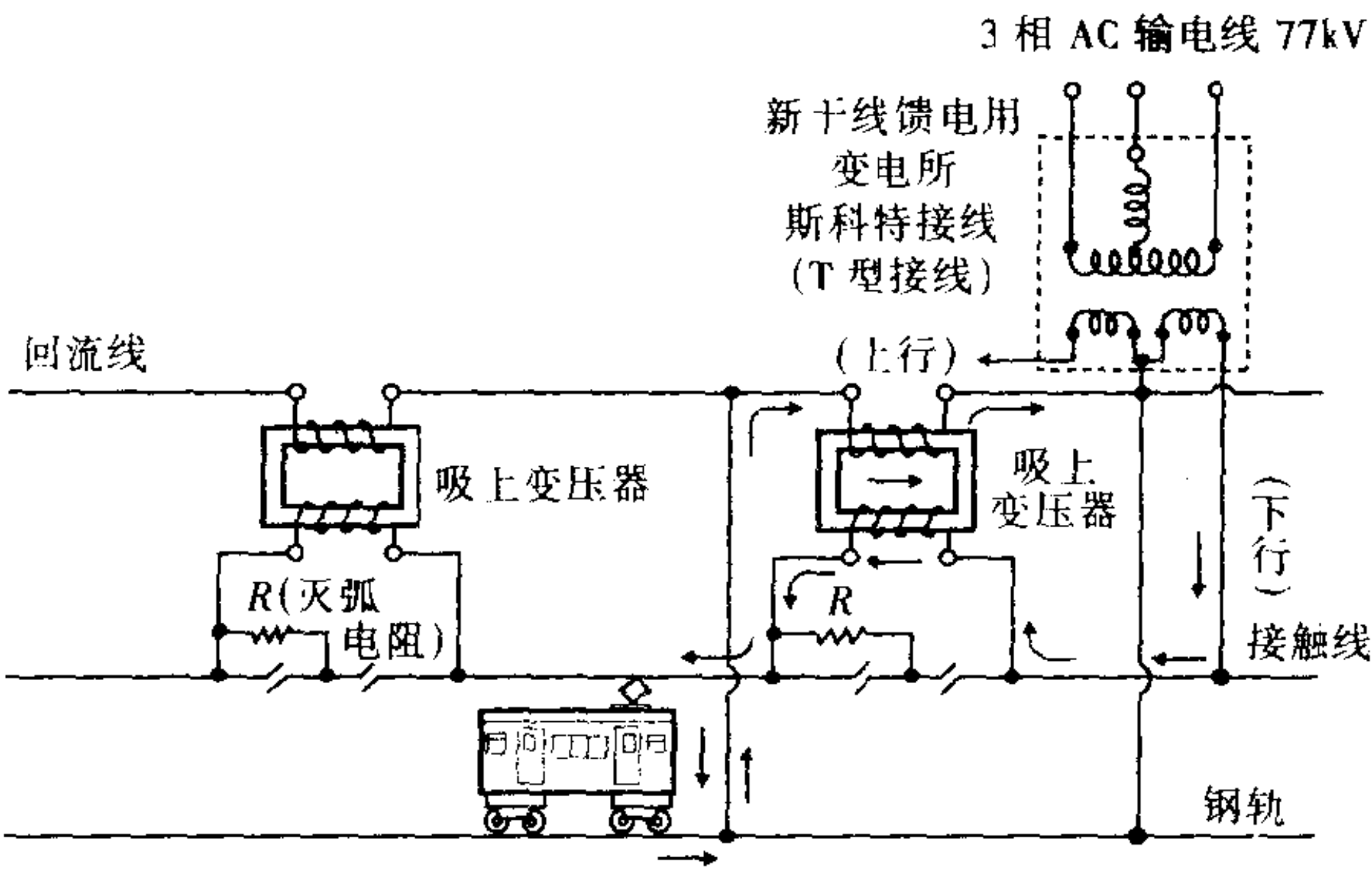


图 5.56 BT 馈电方式

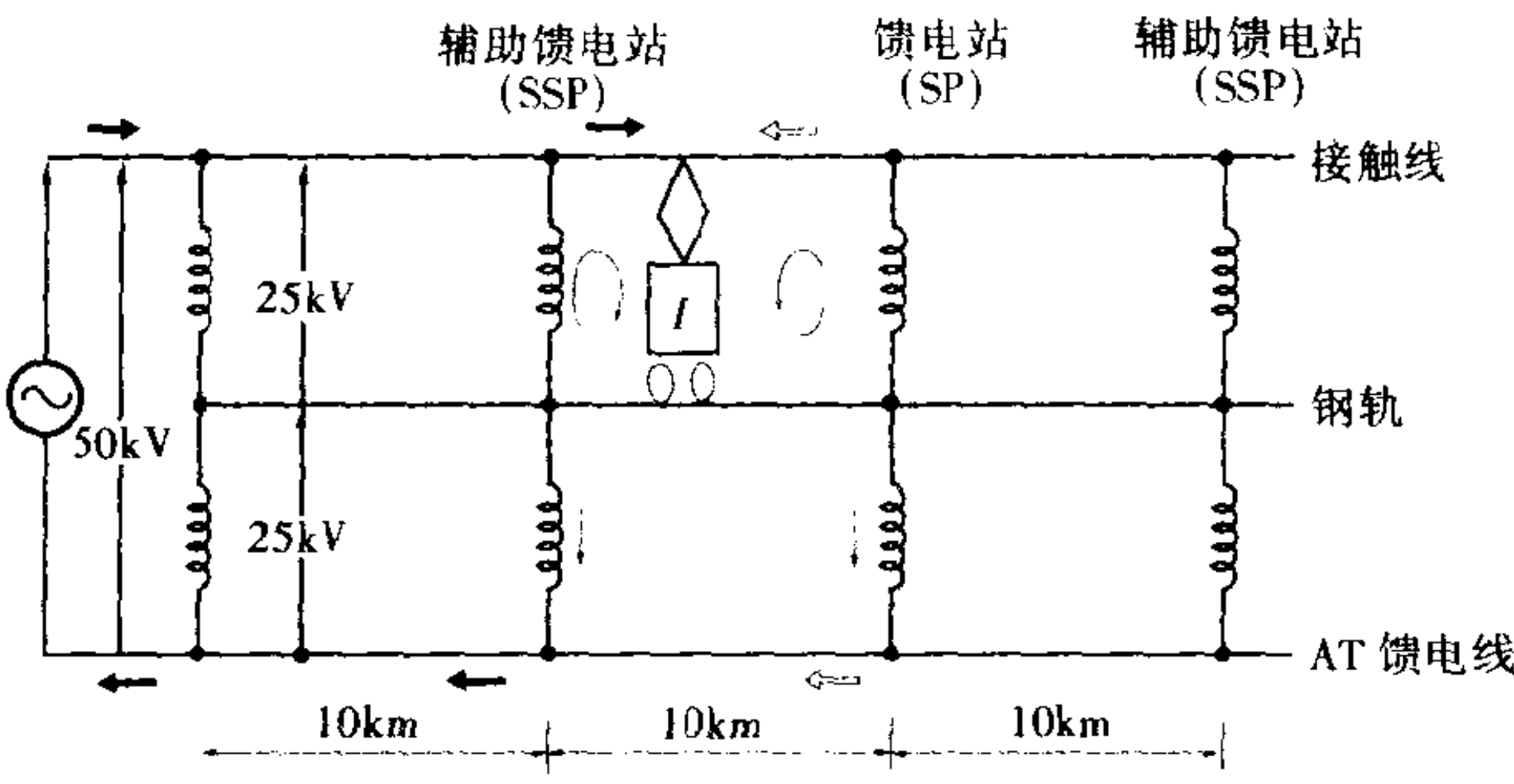


图 5.57 AT 馈电电路的构成示意图

5.6.4 新干线的 ATC 及 CTC

(a) 轨道回路

新干线的轨道回路原理上与地面信号方式的轨道回路相同,但在新干线的情况下,由于交流 50Hz 或 60Hz 的回流流过钢轨,因此必须改变信号电流的频率。关于频带,如图 5.58 所示。沿线 20 ~ 30km 间隔设置 ATC 信号收发装置的中心。

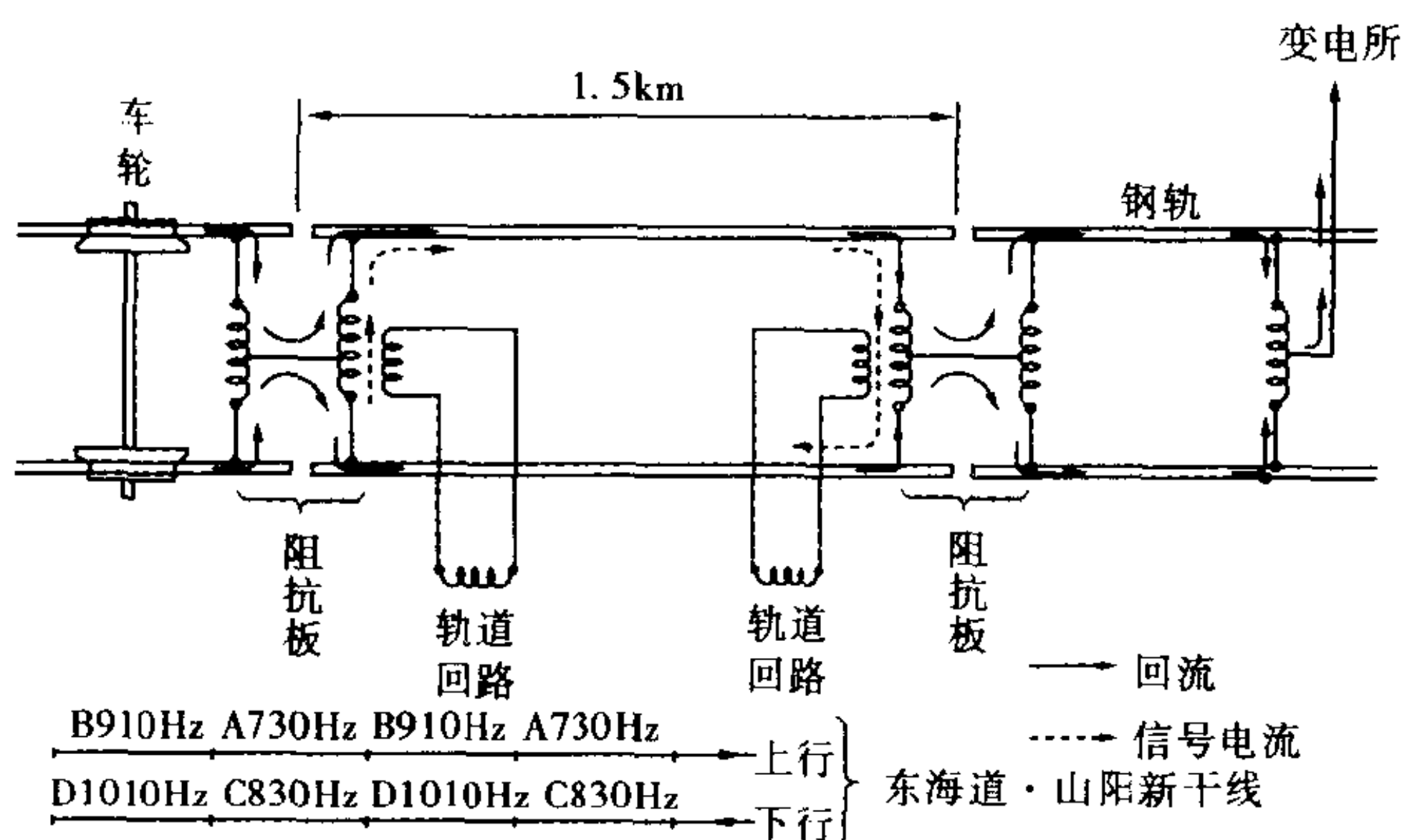


图 5.58 ATC 的轨道回路及使用频率

(b) 采用 ATC 的速度控制

- ① 240 信号: 东北新干线从 1985 年 3 月开始使用。
- ② 220 信号: 东海道・山阳新干线的速度等级。
- ③ 170 信号: 使列车从时速 220km 停止时的中间速度等级。
- ④ 120 信号: 在急剧弯道很多的东海道新干线东京附近的限制速度。
- ⑤ 30 信号: 新干线的最低速度信号。
- ⑥ 0 信号: 停止信号(参见图 5.59)。

(c) 采用 CTC 的列车运行

对于东海道・山阳新干线, 在综合调度所进行 CTC (Centralized Traffic Control 的简称), 对于东北・上越新干线, 在新综合调度所进行 CTC。在调度所分别设置集中显示屏及集中控制

屏。在集中显示屏上,显示全部列车的位置、前方线路的状况、有无异常等全线信息(参见图 5.60)。

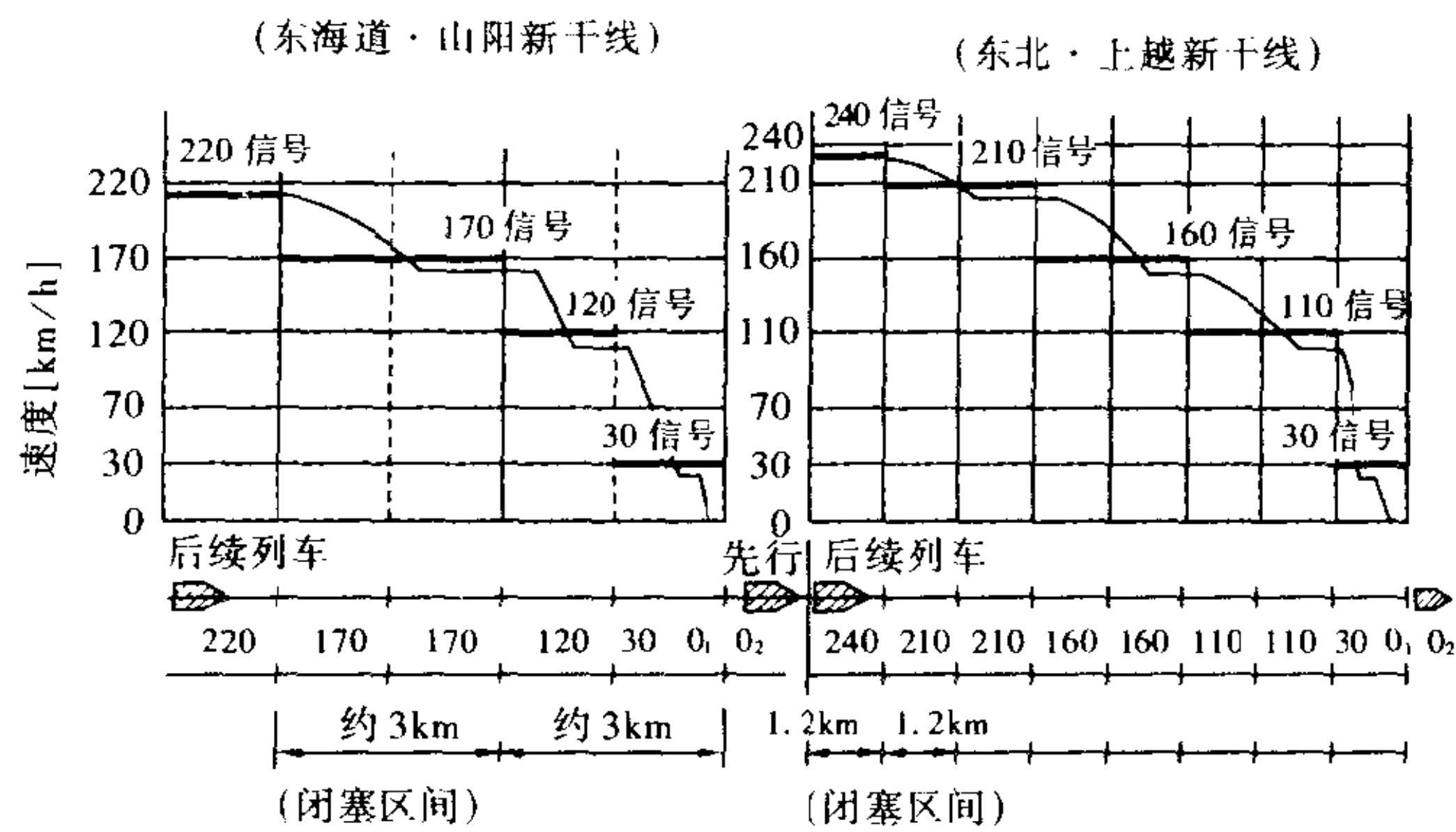


图 5.59 采用 ATC 的速度控制

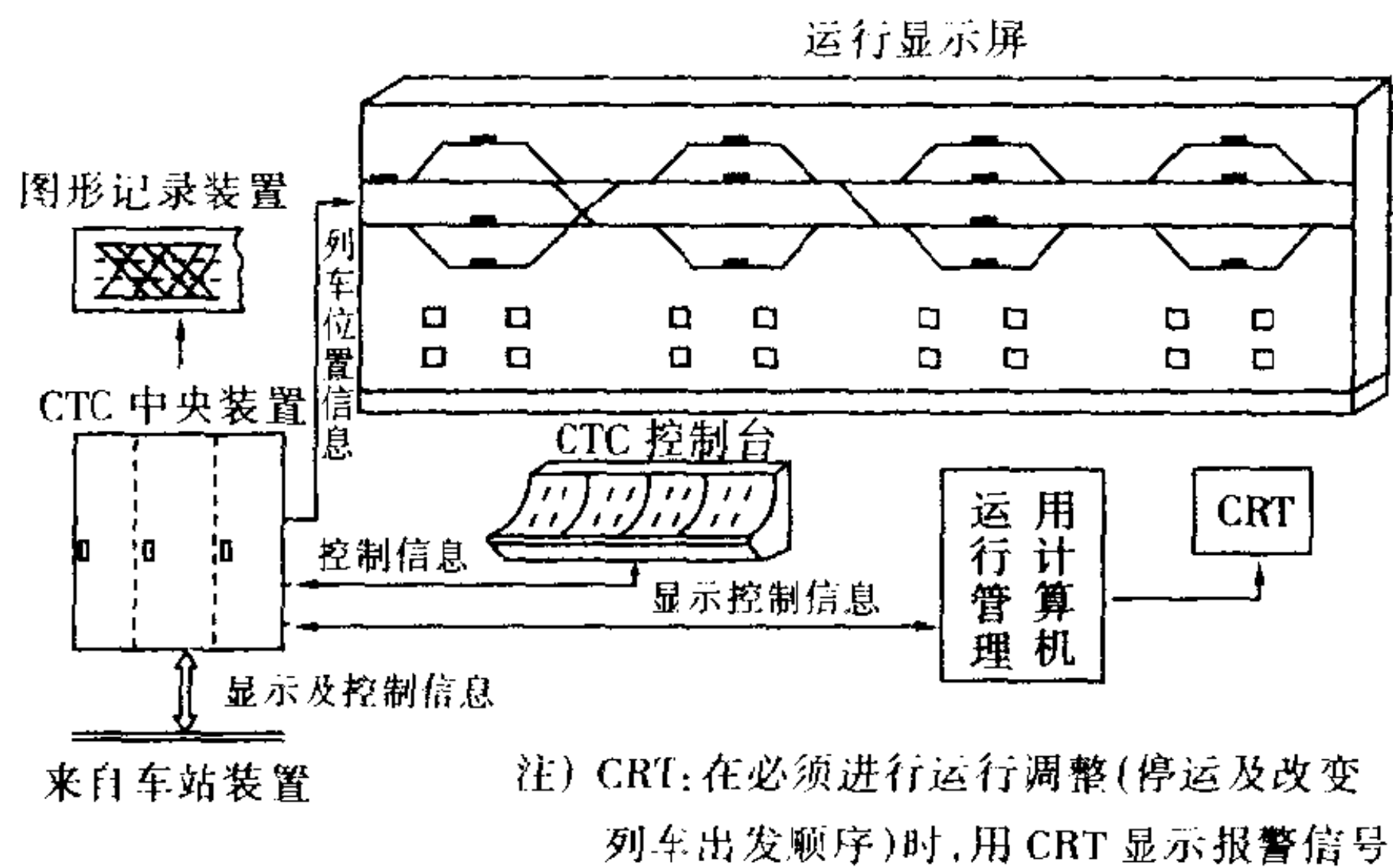


图 5.60 CTC 中央装置连接示意图

5.7

特殊铁道

图 5. 61 所示电车没有钢轨，车轮是橡胶轮胎，电力是利用刚性接触线接受三相 600V 交流电。

最近在都市中正在开发新交通系统。图中所示为骑跨式单轨电车(参见图 5. 62)。

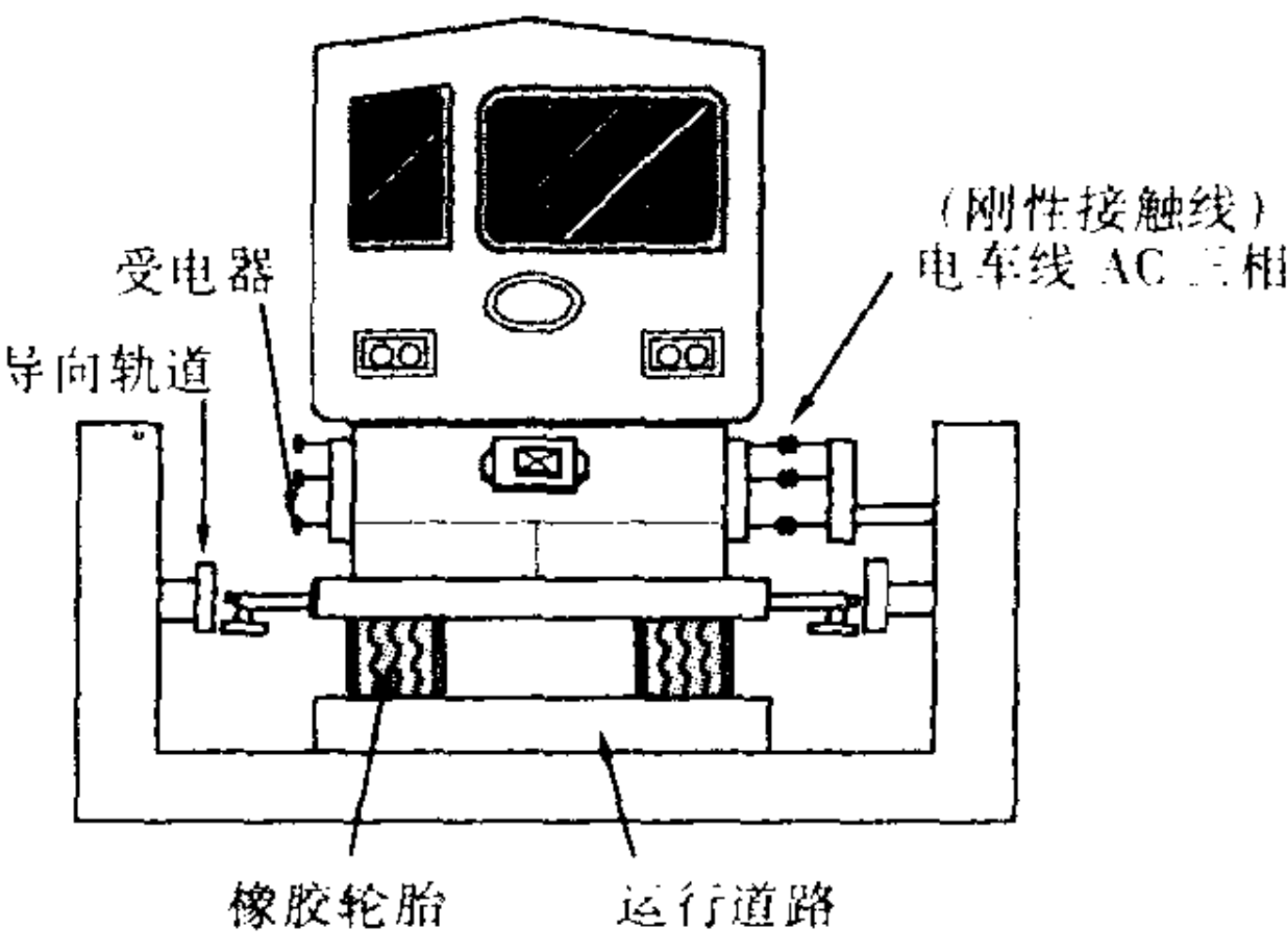


图 5. 61 导向轨道电车

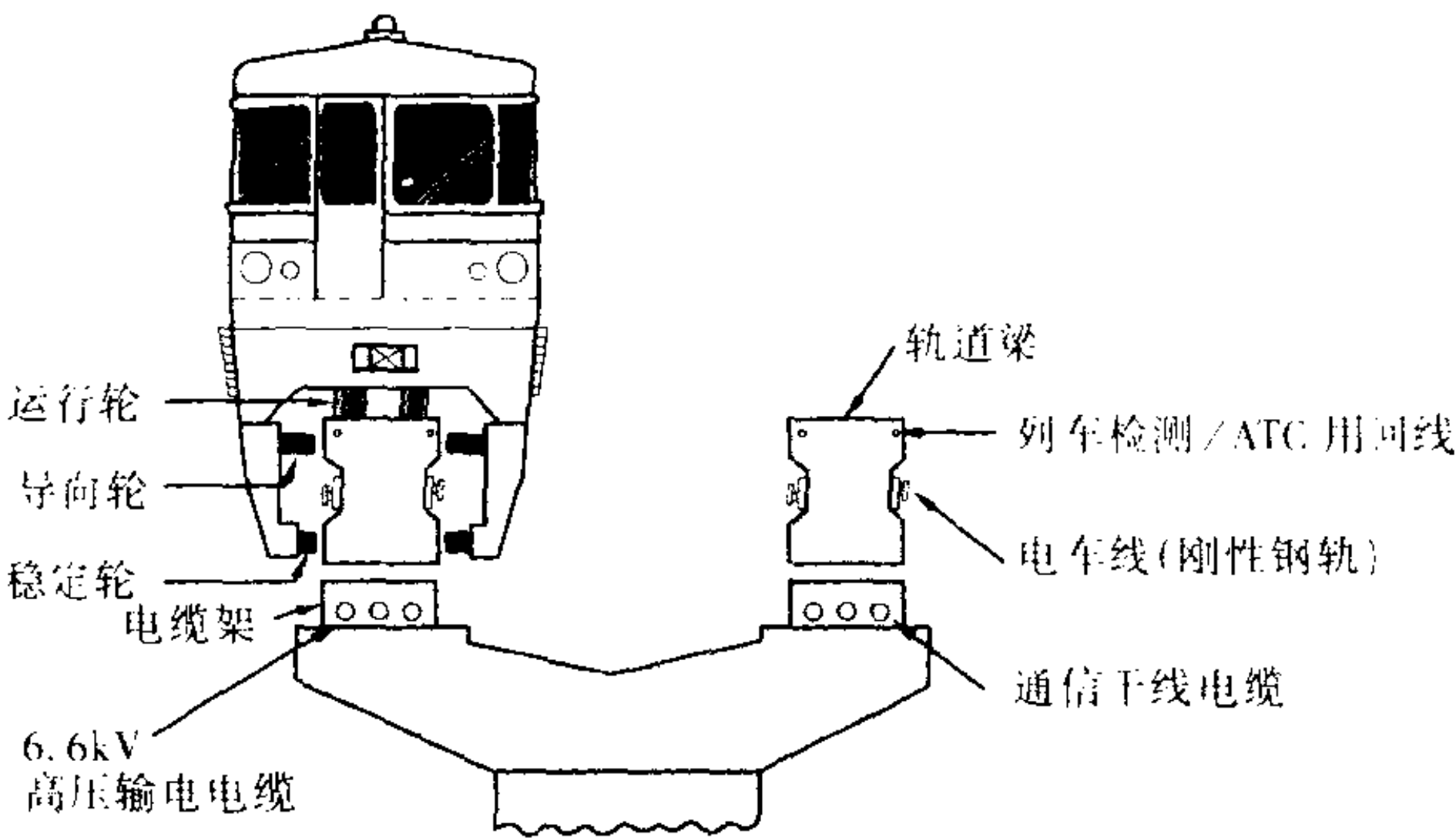


图5. 62 骑跨式单轨电车

交通系统的历史,是不同时代的技术、速度、舒适性及价格等方面得到好评的系统不断繁荣的发展过程。近年来,由于技术革新的进步,与现有铁道技术结合起来,出现了叫做新交通系统的

中等运输量轨道运输系统。一次能运输的人数为数十人至数百人左右,可以看成是像公共汽车那样的交通系统。

(a) 新交通系统(引导式无轨电车)

日本最早运营的是大阪市港区线的中码头—住江公园间 6.6km。在关东,埼玉新都市交通(新短程列车 New Shuttle)的伊奈线大宫—羽贯间的 11.6km 也于 1983 年 12 月运营。供电方式是利用刚性接触线接受三相 600V 交流电(参见图 5.61)。

(b) 单轨电车

在日本运营的是 1964 年 9 月运营的东京单轨电车浜松町—羽田空港间 13km。近年来,由于都市交通堵塞严重,因此考虑在道路上空的空间引入公共交通系统,这样一来,就可以使用道路建设预算来完善都市单轨交通等。在日本,1982 年 6 月运营的北九州高速铁路是第一号。千叶县千叶市的体育中心—千城台 8.1km 也在 1988 年 3 月开始运营,还进一步继续进行延长工程(参见图 5.63)。

(c) 直线电动机驱动铁道

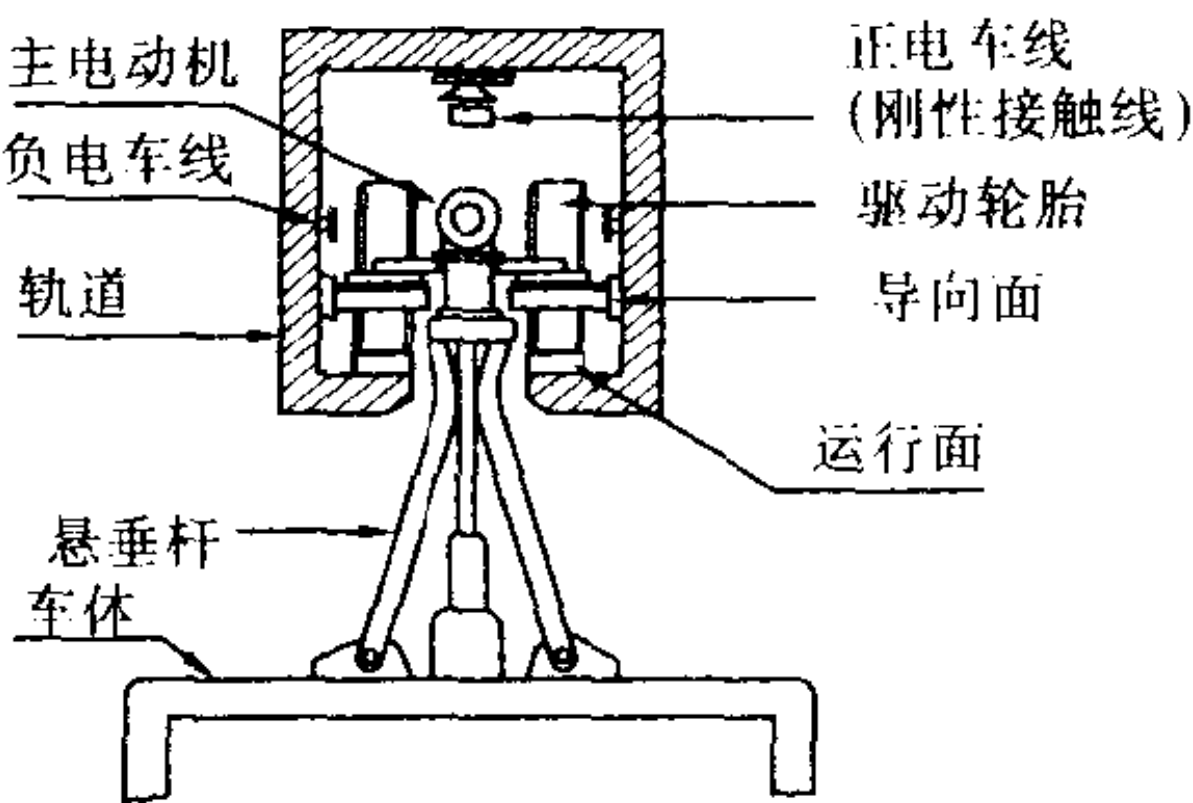


图 5.63 悬垂式单轨电车的转向架

日本最初的直线电动机驱动铁道是 1990 年 3 月 20 日运营的大阪市营地铁京桥—鹤见绿地间 5.2km。在这之后,东京都营地铁 12 号线采用该方式,部分区间即光丘—练马间 3.8km 于 1991 年 12 月运营(参见图 5.64)。图 5.65 所示为直线电动机驱动的原理。

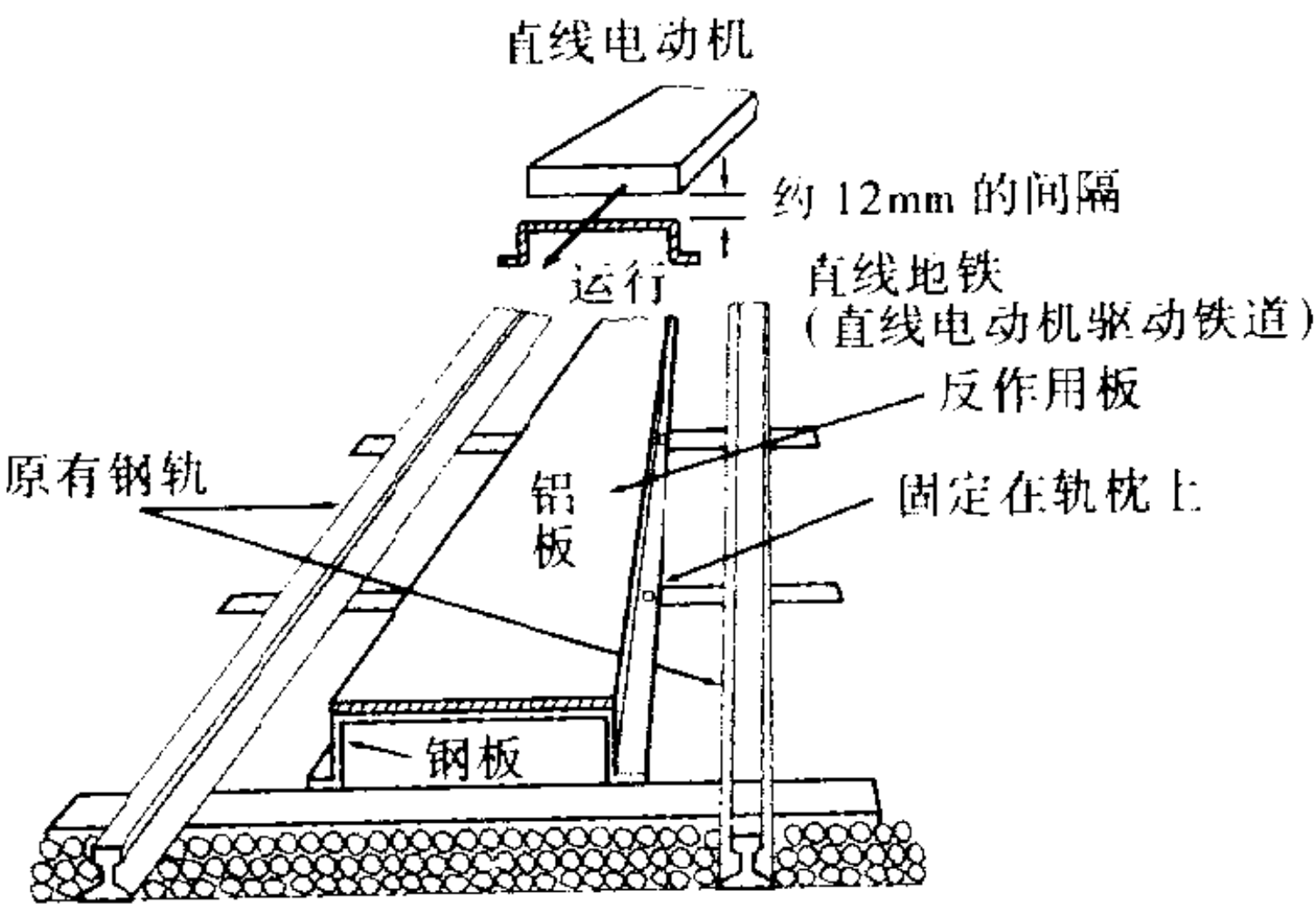


图 5.64 反作用板

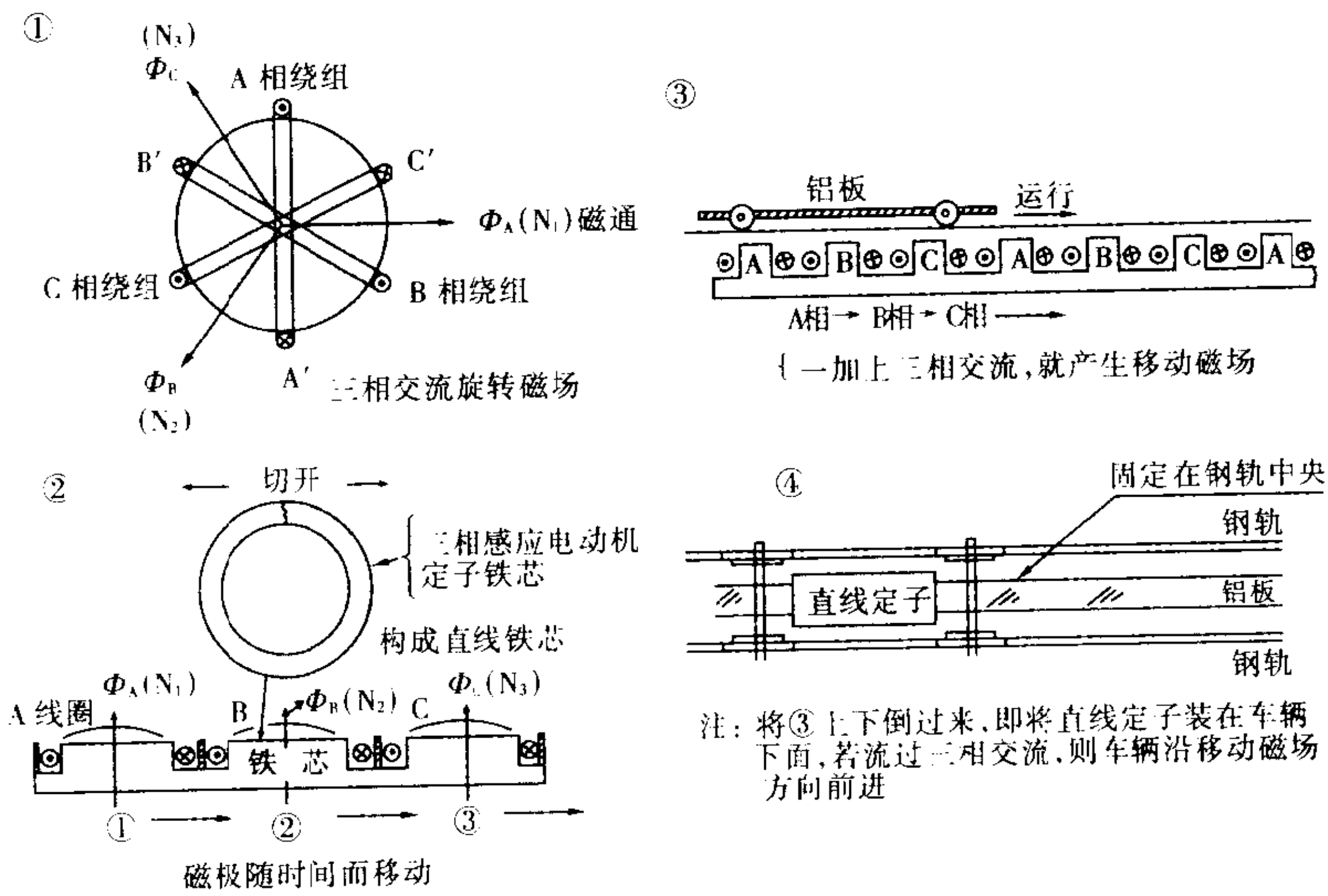


图 5.65 直线电动机驱动原理

5.8

座位预约系统

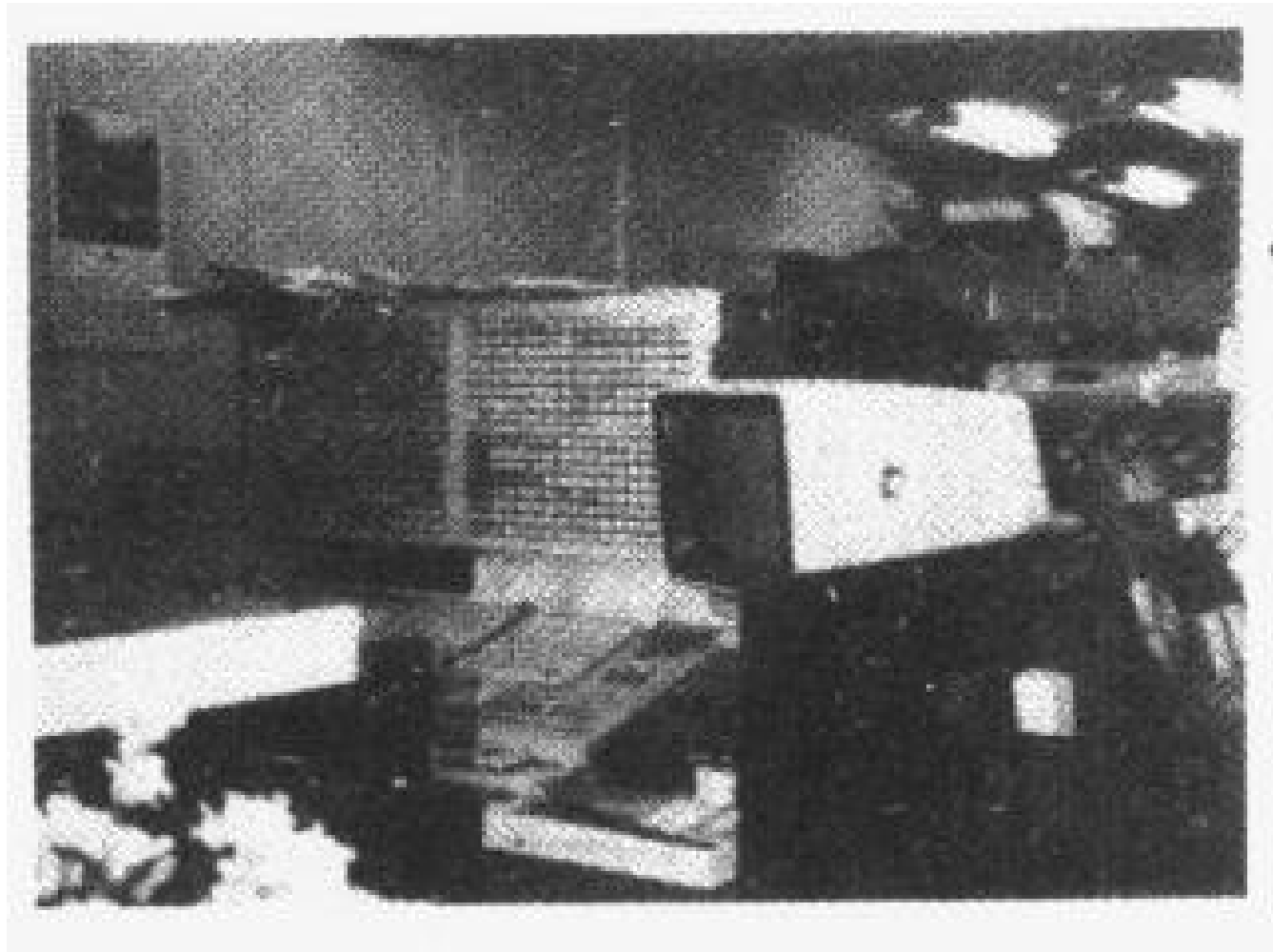


图 5.66 预售票窗口

⇨ 预售票窗口的照片参
见图 5.66。

新干线自动售票机的
照片参见图 5.67。

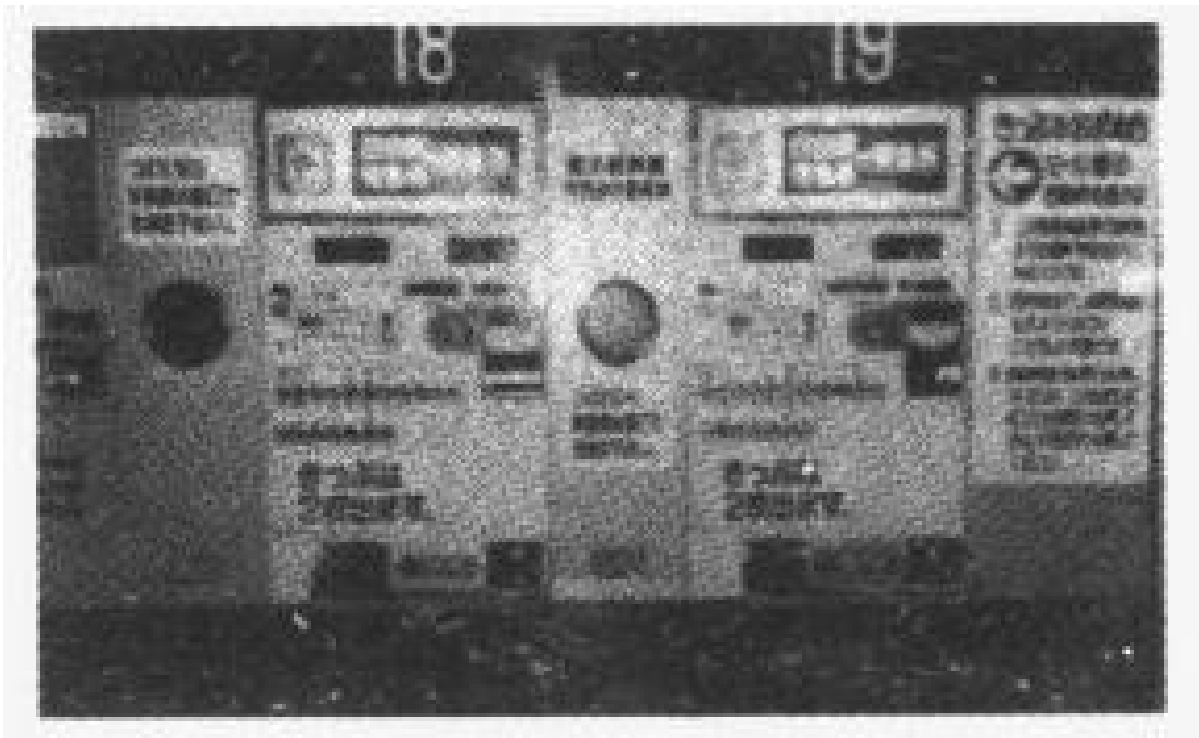


图 5.67 新干线自动售票机

M 型终端机售票的例子参见图 5.68。

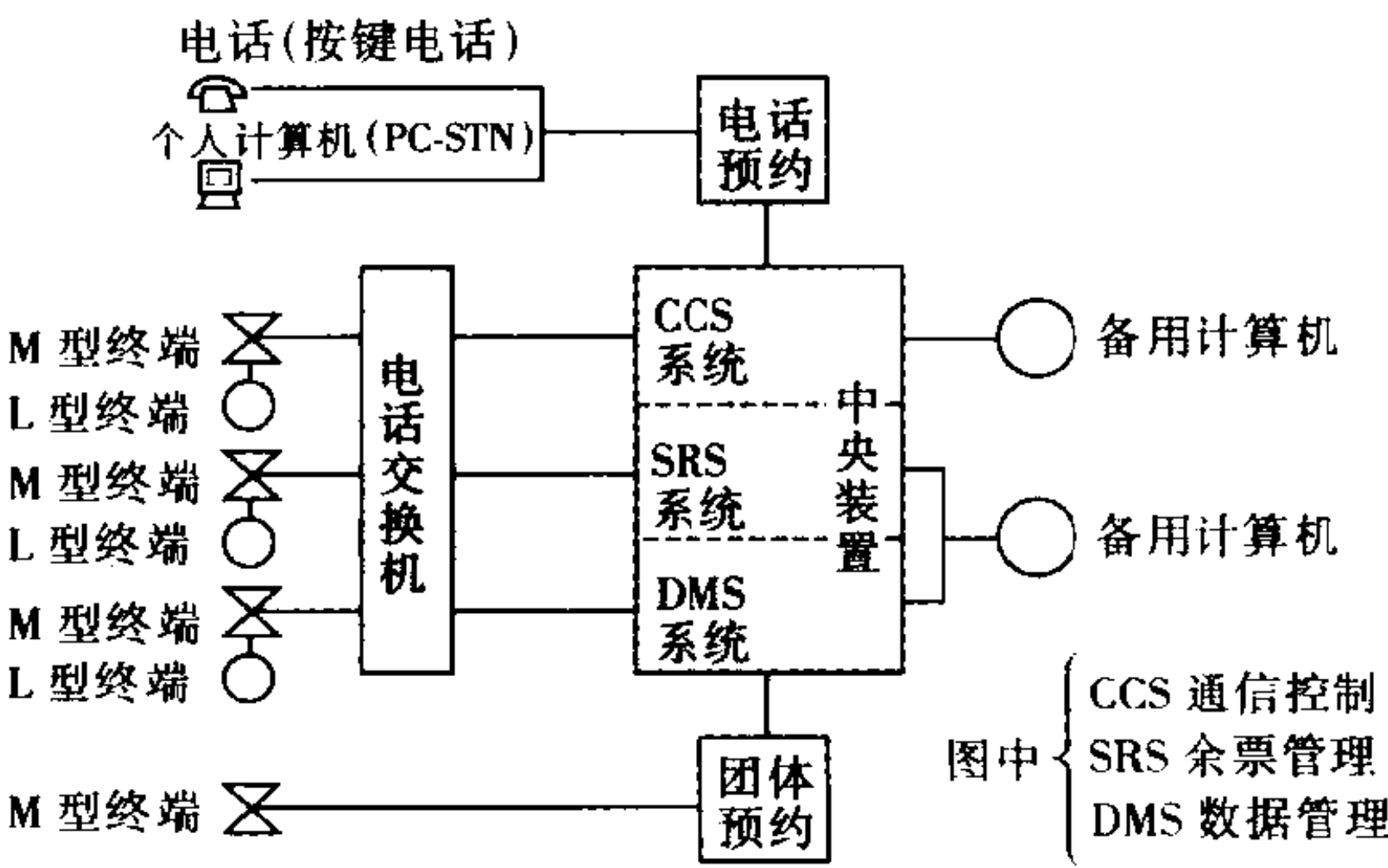


图 5.68 座位预约系统“火星 301”的说明图

为了适应旅客的需要,必须开行足够的列车使得随时都能乘坐。但是,旅客是集中在某些特定的时间(双休日、假日、暑期、年末等)。由于运输能力有限,因此根据旅客的希望,确保预约的座位是服务的关键。

(a) 座位预约系统

日本的座位预约是配合 1964 年东海道新干线的运营,利用火星 101 系统正式开始营业的。之后,经过了二十几年,在 1985 年 3 月全面过渡到火星 301 系统。

(b) 火星 301 系统的功能

以前的火星 101 系统只是座位预定,而火星 301 系统具有下列的功能:

① 余票管理(空座位、空房间);② 票价计算;③ 住宿及团体预约;④ 顾客管理;⑤ 与旅行社的联系;⑥ 旅客促销。

(c) M 型终端与 L 型终端

M 型终端为带 CRT 的热印刷方式的终端,利用专用线路与中心直接连接。其特征是:① 能够高速售票;② 备有六种大小的汉字(参见图 5.68)。

L 型终端配置在中小车站,终端利用通用网络,以节省线路经费。机器利用通用的个人计算机,功能比 M 型要减少。

(d) 预约的方法及种类

① 预售票窗口(主要车站):在该处提出预约,即通过 CPU 操作给以回答。若有空位,则打印出预约车票出售。

② 电话预约:用加入 CAPTAIN(文字图形电话存取信息网络)系统的个人计算机能够从家里或办公室进行预约。另外,也可以用按键电话机预约。

(e) 火星系统的运行实绩

火星系统由于每天从上午 10 点同时在全国发售一个月之内的对号票,因此它的特点是,在这个时候出现集中预约的情况。若根据 1985 年 7 月夏季的繁忙季节一个月的平均量,它每天要处理 107 万次呼叫,预约 48 万个座位,成绩是很明显的。

VI

各种电气应用

除了前面学习的内容以外，电气现象还应用于下面各个领域：

利用超声波的有超声波清洗、超声波加工、超声波测深及超声波探伤装置；

利用静电现象的有静电除尘器、静电喷涂、静电分选及静电记录；

在医学中利用 X 射线、超声波及磁现象；

利用热泵的有低温干燥冰箱及室内空调器；

利用高频的有高频焊接。

下面学习这些应用。

6.1 超声波的产生及其应用

6.1.1 超声波

频率比人耳能够听见的 $20\text{Hz} \sim 20\text{kHz}$ 要高的波叫做**超声波**。超声波由于波长短,因此方向性明显。其特征是在光不能透过的不透明物质及电波不能进入的金属中或海水中也能传播(参见图 6.1)。

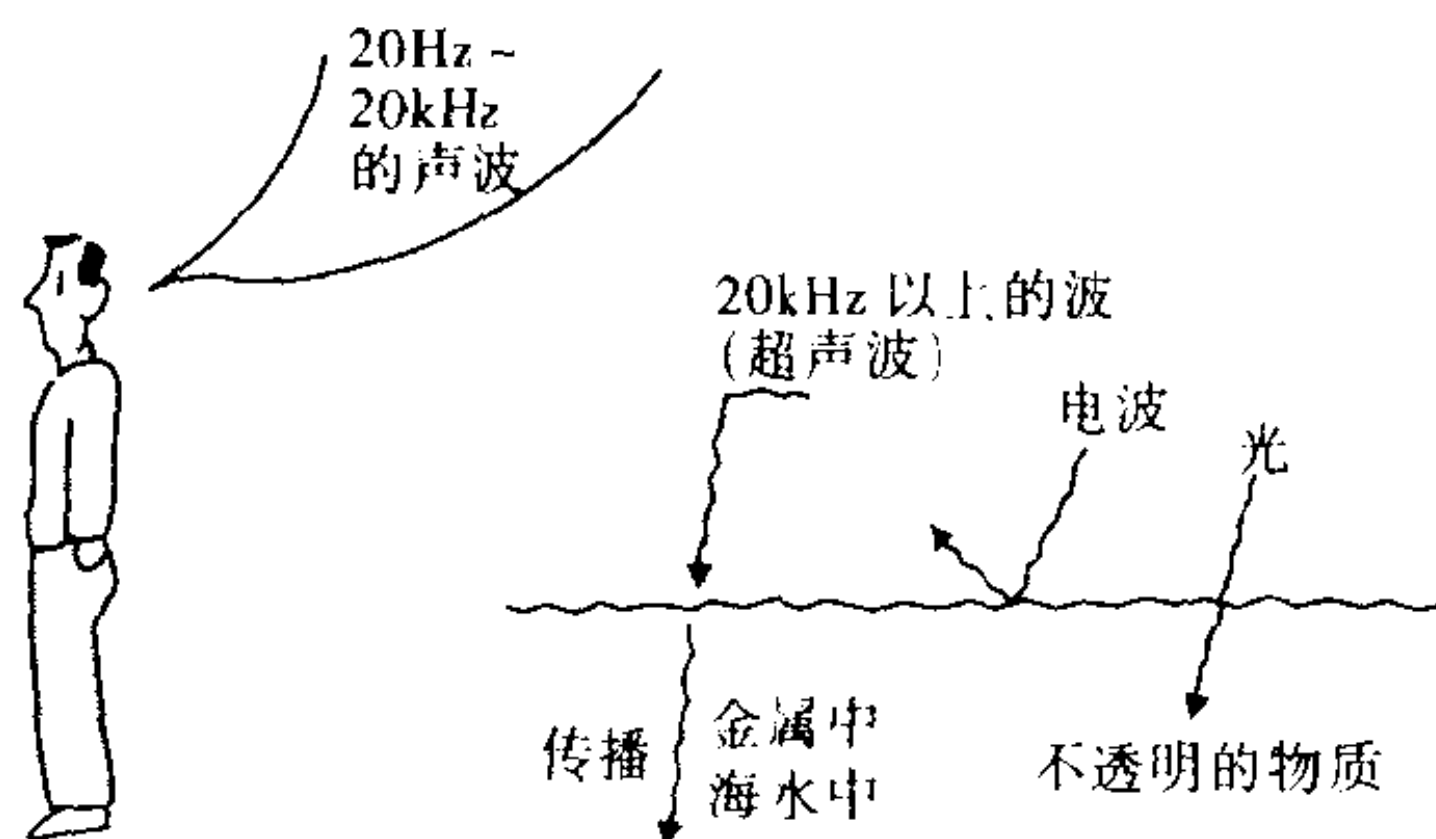


图 6.1 超声波的特征

6.1.2 超声波的产生

(a) 利用电致伸缩或压电现象

当强电介质加上电场,则产生机械变形,将这叫做**电致伸缩**。电致伸缩材料有陶瓷系的钛酸钡、锆酸铅及钛酸铅等。

另外,若加上电场,则产生变形;反之,若从外部加上力,则产生电极化现象。将这叫做**压电现象**。压电材料有水晶、电气石及罗谢尔盐等。

利用这些现象的振子叫做电致伸缩振子及压电振子,利用这些振子能够产生超声波。

若想要产生低频的超声波,则要很大的水晶,但是很难将水晶的厚度做得很薄,只用这样的水晶很难产生低频超声波。

因此,采用将薄的水晶装在铁板等之间的朗之万振子能产生 100kHz 以下的超声波(参见图 6.2(a))。

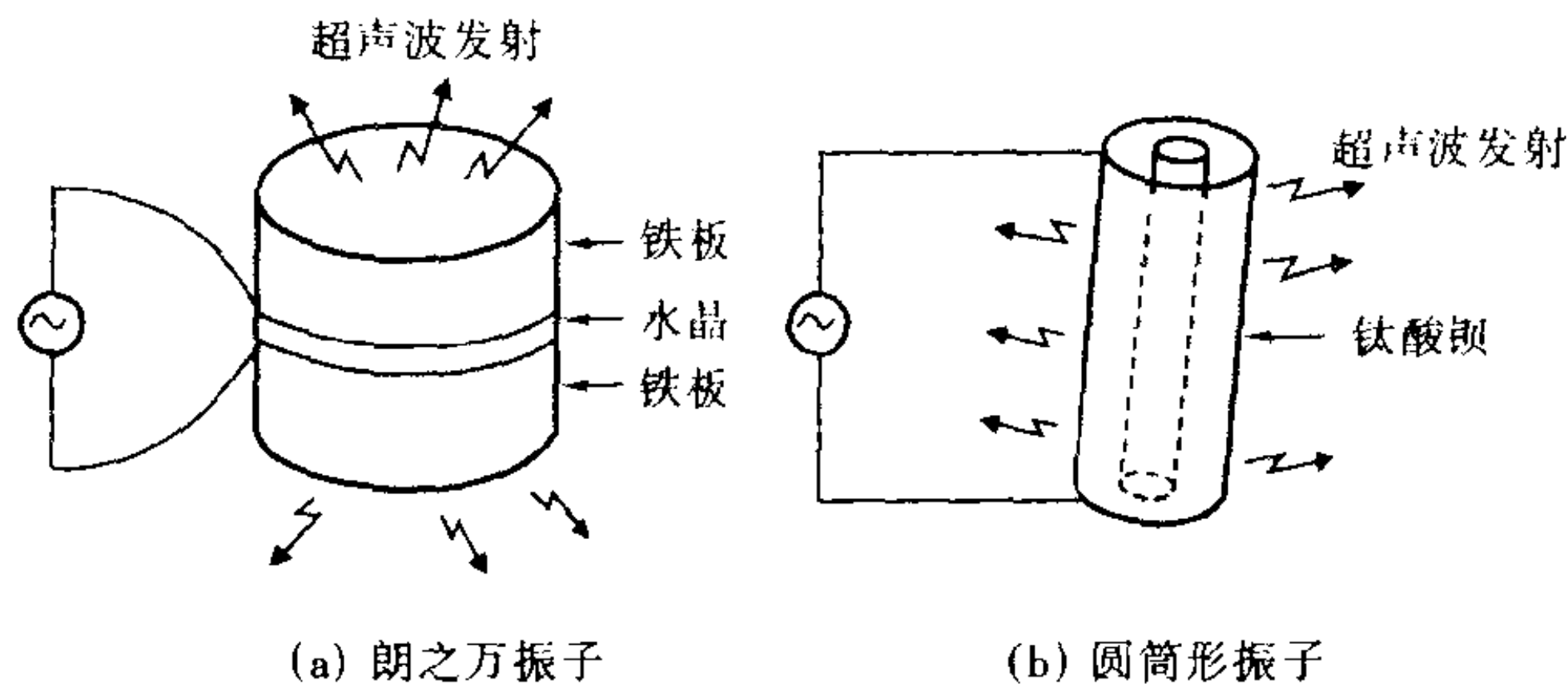


图 6.2 利用电致伸缩及压电现象产生超声波

电致伸缩材料的钛酸钡，由于是陶瓷，因此可以做成任意形状，可做成圆筒形振子用来产生径向振动(参见图 6.2(b))。

(b) 利用磁致伸缩现象

当将磁性体进行磁化时，随着磁化的变化，要产生机械变形。将这种现象叫做**磁致伸缩现象**。

磁致伸缩材料具有大的磁致伸缩的弹性体，要求磁场能量及机械能量的损耗要小，可采用镍、Fe-Al、Fe-Co 及铁氧体等。

图 6.3 所示为磁致伸缩振子。

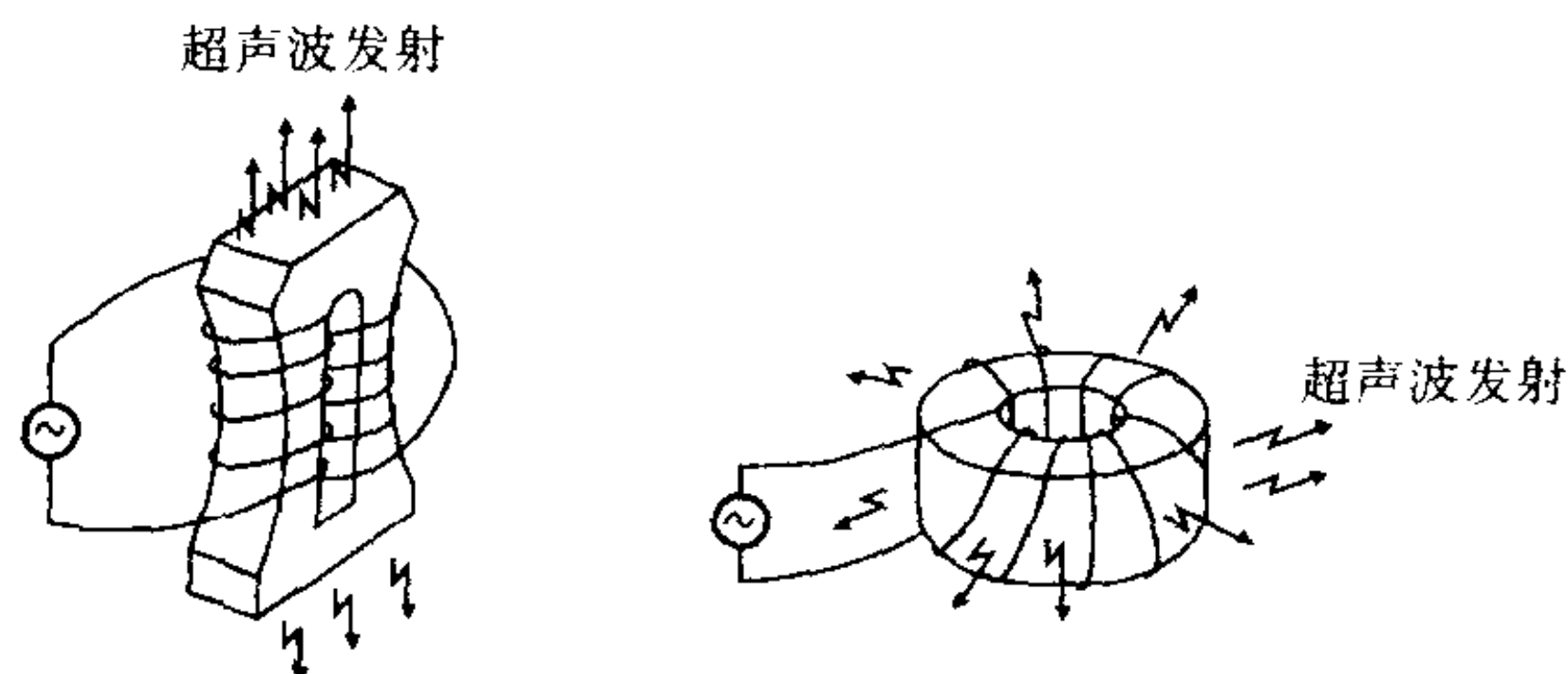


图 6.3 磁致伸缩振子

6.1.3 作为动力的应用

(a) 超声波清洗

当将超声波射入到液体中时，产生了下述的现象，即在超声波的负半周，瞬间将液体撕破，产生无数的空泡，而在下一个半周，又将空泡挤破。

超声波清洗是利用这一现象，使用 20 ~ 50kHz 左右的超声

波,用来对电子元器件、钟表零件、小型机械零件、宝石及医疗器械等进行清洗(参见图 6.4)。

(b) 超声波加工

图 6.5 为利用超声波振动进行切削、打孔及切断等加工的超声波加工。

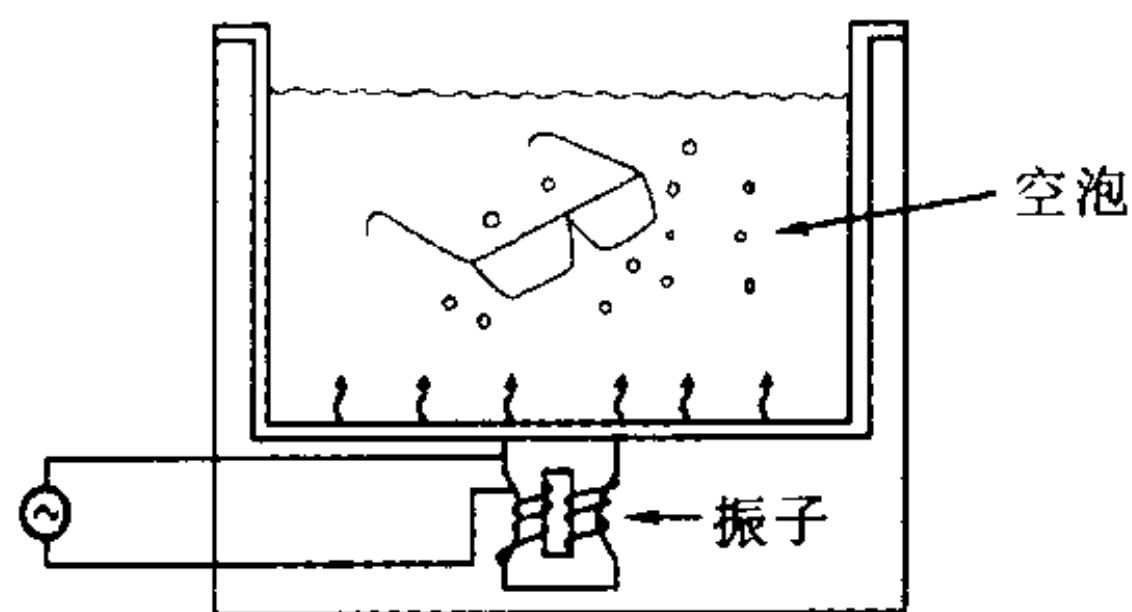


图 6.4 超声波清洗

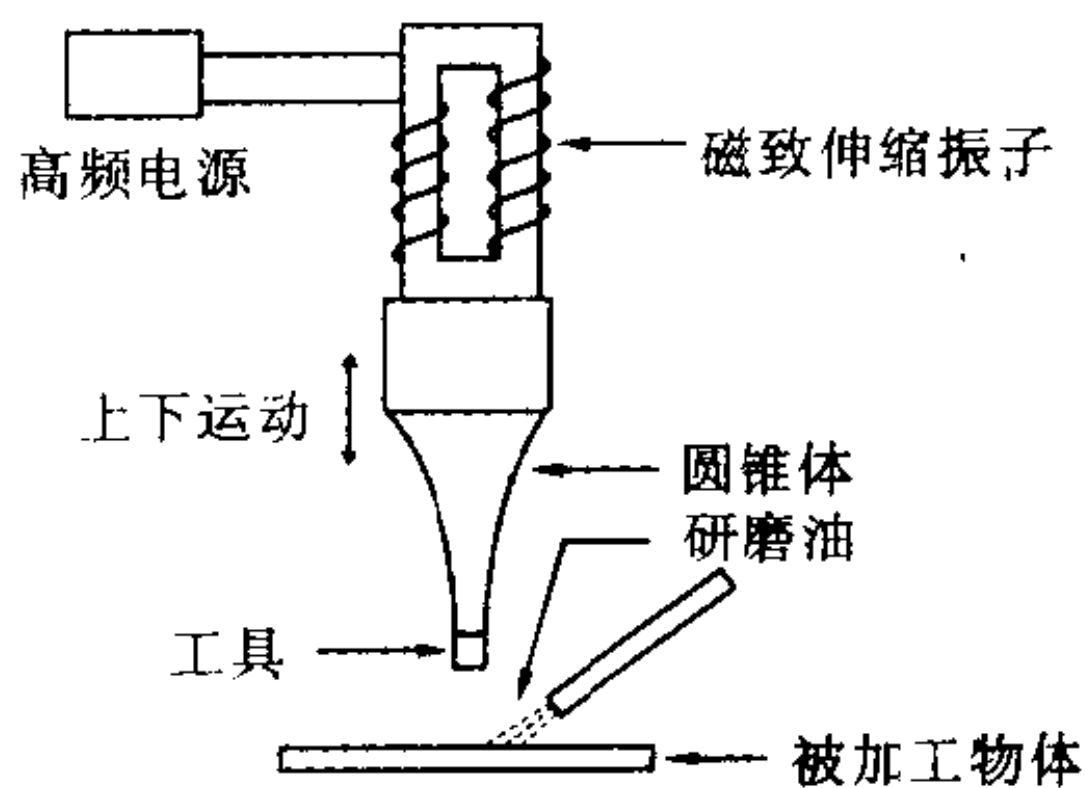


图 6.5 超声波加工

超声波加工是将利用振子产生振动的工具与被加工物体接触,利用工具端部的研磨油靠冲击进行加工。其频率为 15~30kHz,圆锥体的作用是提高超声波单位面积的输出。

研磨油的研磨剂采用碳或金刚石的粉末。

超声波加工机可用来对金刚石等宝石类进行打孔或对铁氧体磁芯及电子设备用的基板进行加工等。

6.1.4 测量方面的应用

(a) 用于水中

在海水中,使用电波或光是很困难的,因此可用超声波进行测量。

超声波由于方向性很强,能够将超声波集中,因此应用广泛,在方式上多采用脉冲反射法(参见图 6.6)。

从船底发射脉冲波,接收来自海底的反射波,根据其往复所需要的时间来测量水深,这样的测量装置叫做超声波测深仪,是远洋航海的船只必须装备的装置。

将超声波向海底发射,根据其反射波来探测鱼群的存在,将

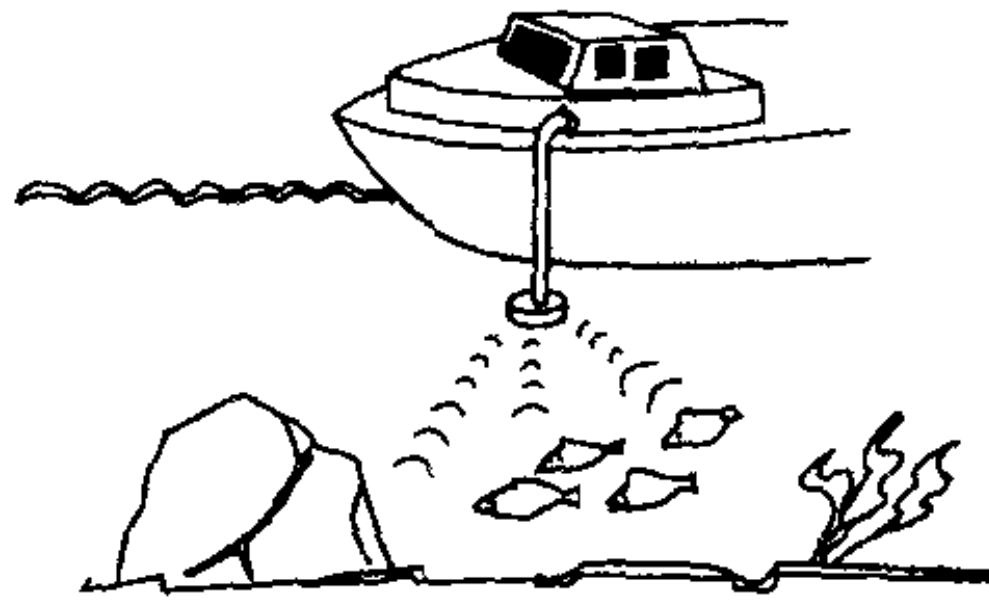


图 6.6 超声波在水中的应用

这种探测装置叫做鱼群检测仪。在小型渔船上也装备有这种装置。由于来自鱼群的反射波其损耗因超声波的入射方向及鱼种而异,因此还能够判别鱼群的种类及浮游生物等。

(b) 用于固体中

将脉冲波入射至被检查物体,根据反射波来检查伤痕或混合物的内部状态,将这种检查装置叫做超声波探伤仪(参见图 6.7)。

当从探头入射 $5 \sim 25\text{MHz}$ 的宽度很窄的脉冲,则从底面或中间的伤痕进行反射,返回探头,可用显像管观测该反射状况。

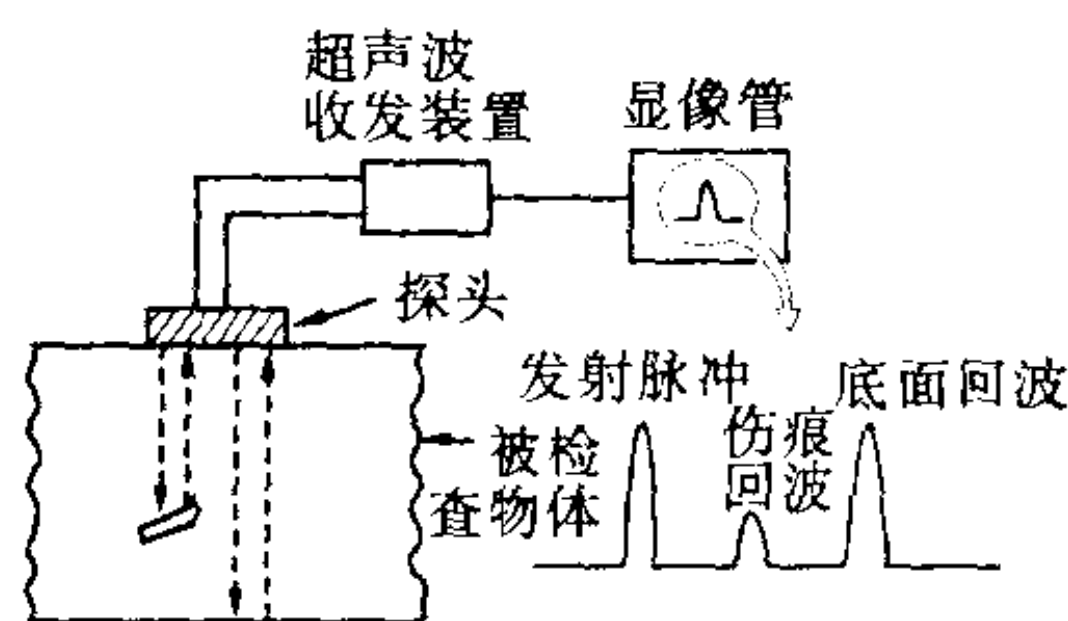


图 6.7 超声波探伤仪

当探头与被接触面之间存在空气时,超声波的透过将急剧减少,因此要在探伤面上涂以油等接触媒体,或浸在水或油中进行检查。

图 6.8 为探测图像装置系统图,该图表示利用超声波传感器的自动扫描,对置于水槽中的被检查物体进行检测,并将图像显示在画面上。

连续改变入射至被检查物体的超声波的波长并用来测量厚

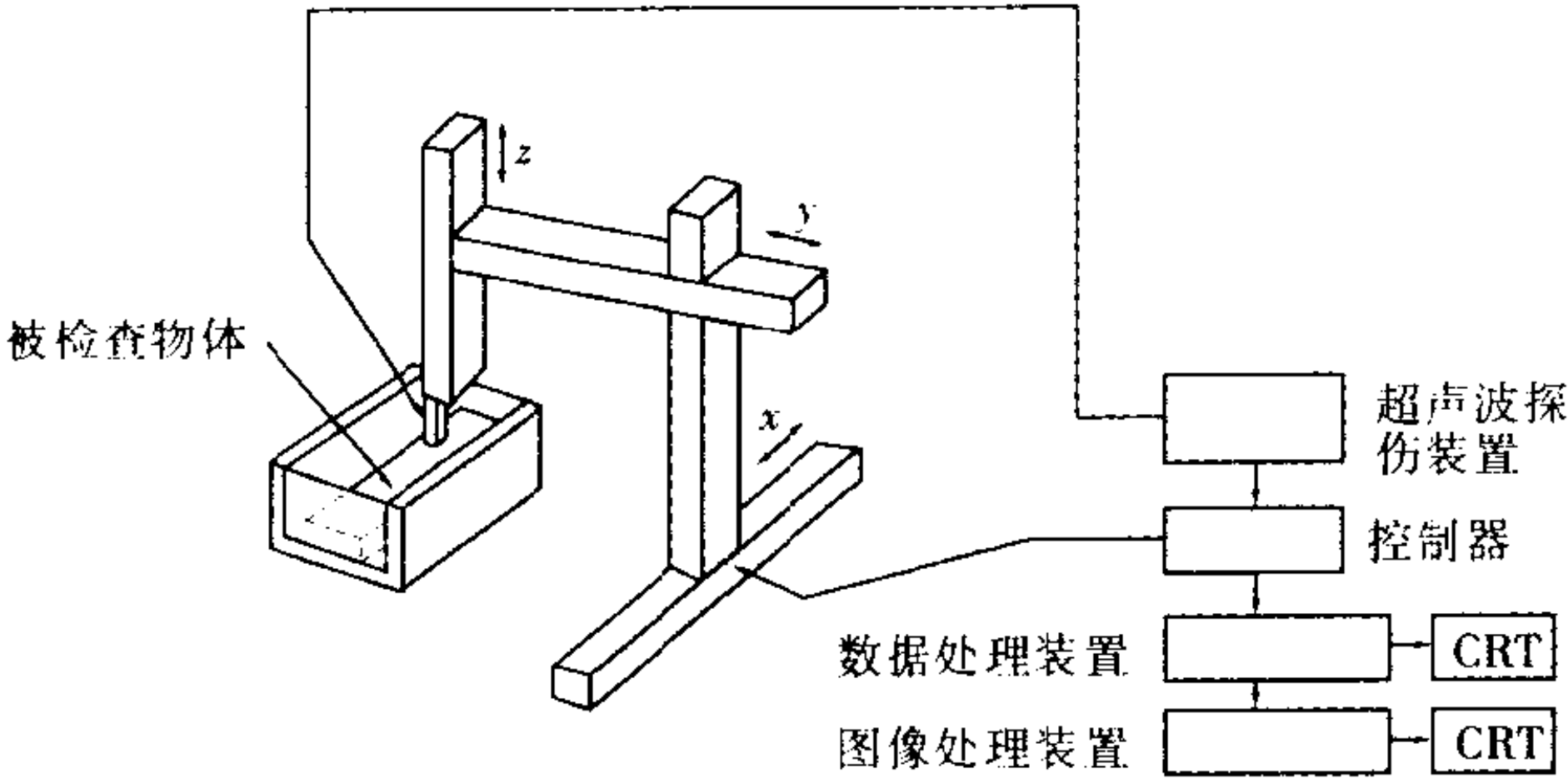


图 6.8 超声波探伤图像装置

度的装置叫做超声波厚度仪。

在图 6.9 中，当改变激振器的频率时，在厚度 l 等于半波长的整数倍的情况下，产生共振。根据 $l = n\lambda/2 = nv/(2f)$ ，如果知道通过材料中的超声波的速度，就能够求出厚度。

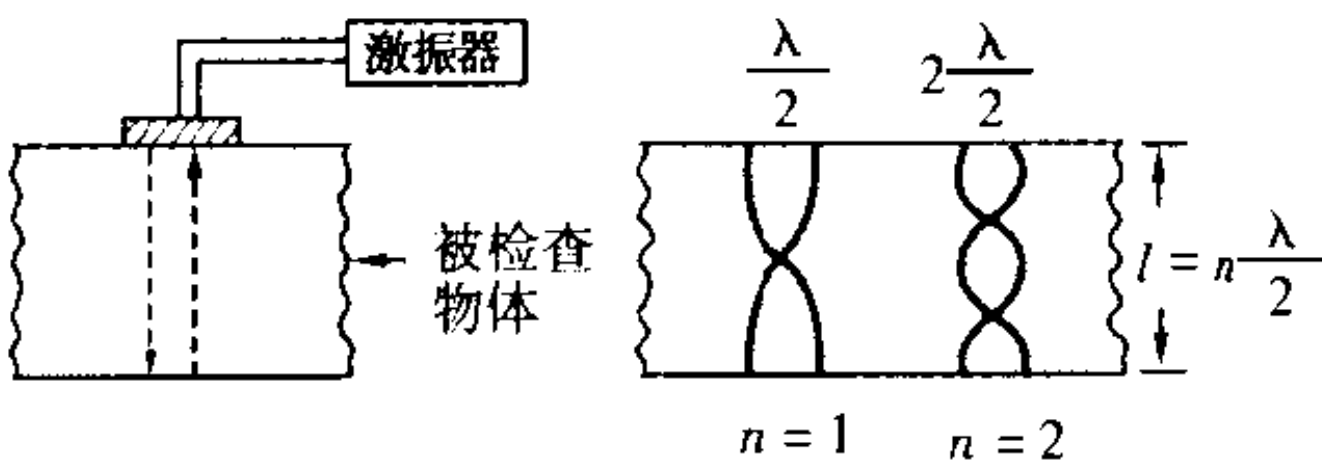


图 6.9 超声波厚度仪的原理

6.2 静电现象的应用

6.2.1 静电

静电是将不同种类的物质相互摩擦而产生的, 一方带正电, 另一方带负电。

例如, 当将饮料吸管从纸袋中抽出时, 若吸管抽出时与纸袋发生摩擦, 则由于在纸袋与吸管之间产生的静电, 纸袋就被吸管吸住(参见图 6.10(a))。

若将尚未显现出有带电性质的物体靠近带静电的物体, 则该物体的两端显现出等量的正负电荷。该现象叫做静电感应, 带静电的物体吸住灰尘就是这个原因(参见图 6.10(b))。

无论什么物体, 若互相摩擦, 就会带静电。但是, 实际上看不

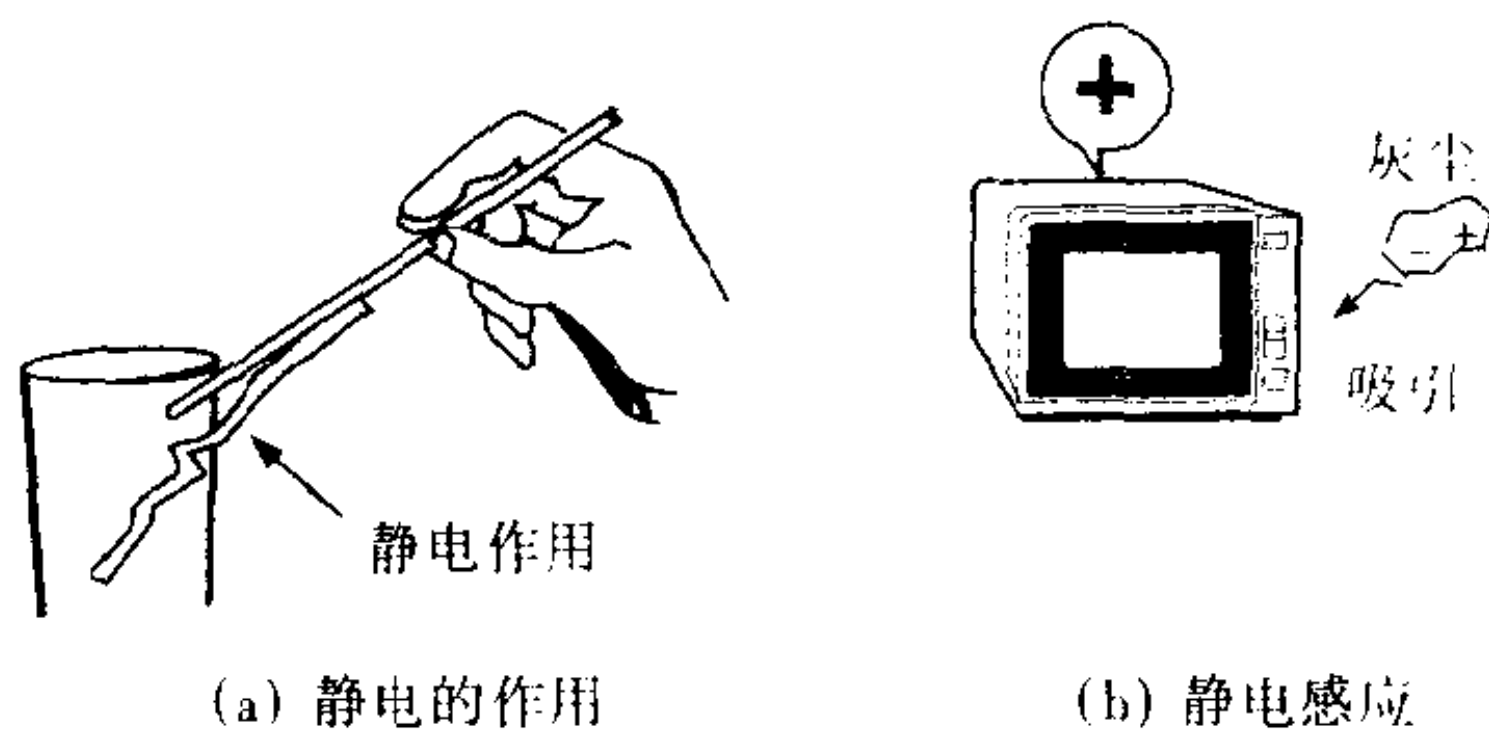


图 6.10 静电现象

到静电现象。那是因为, 静电通过该物体或与其接触的物体跑掉了。因此, 静电现象在静电不易跑掉的塑料或化学纤维等材料中产生。

6.2.2 静电除尘器

静电除尘器是利用电极间电晕放电及库仑力, 除去小到 $0.1\mu\text{m}$ 左右微粒的装置。

图 6.12 所示为静电除尘器的除尘原理, 用作火力发电厂(参见图 6.11)等工业用除尘器。

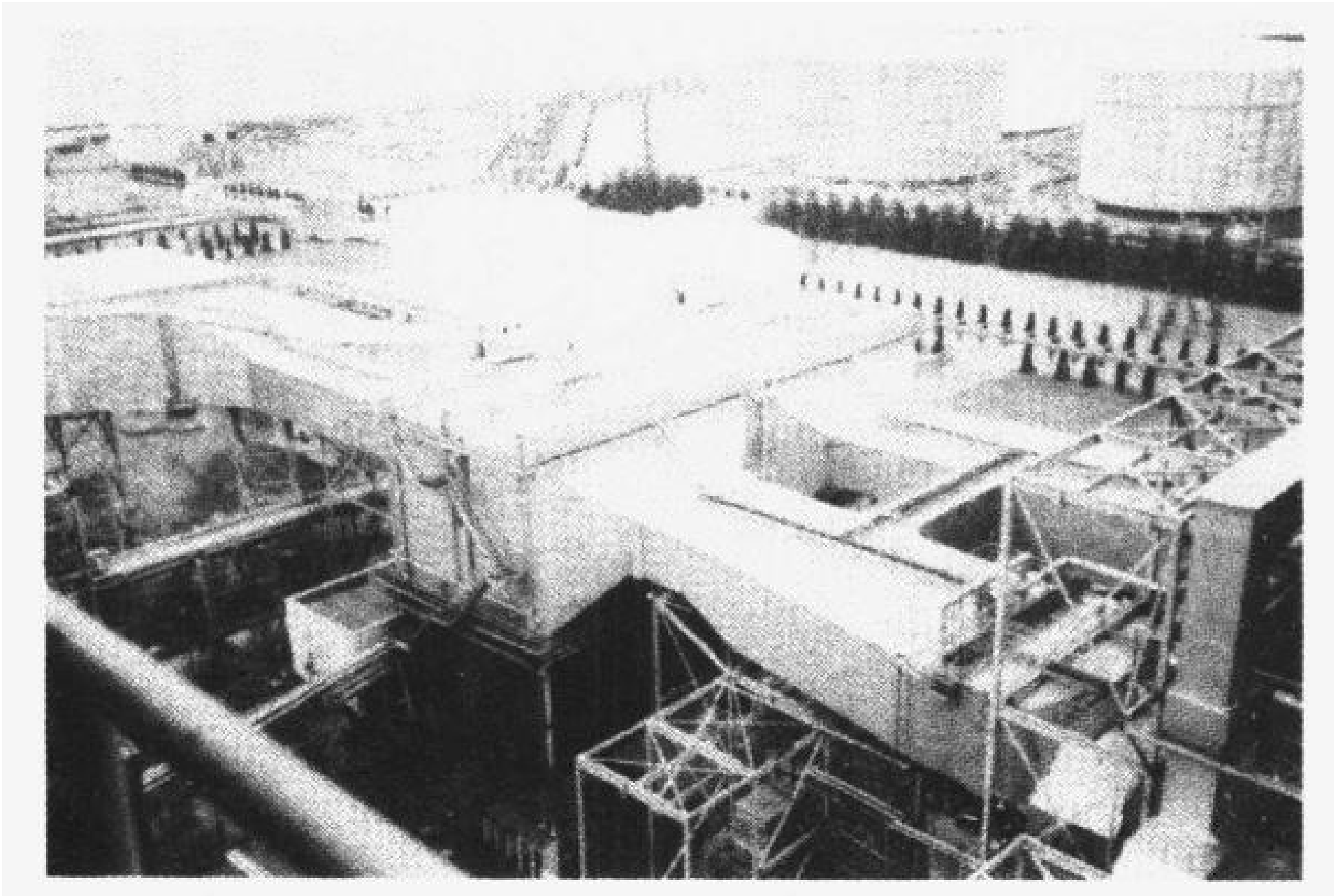


图 6.11 火力发电厂中的静电除尘装置

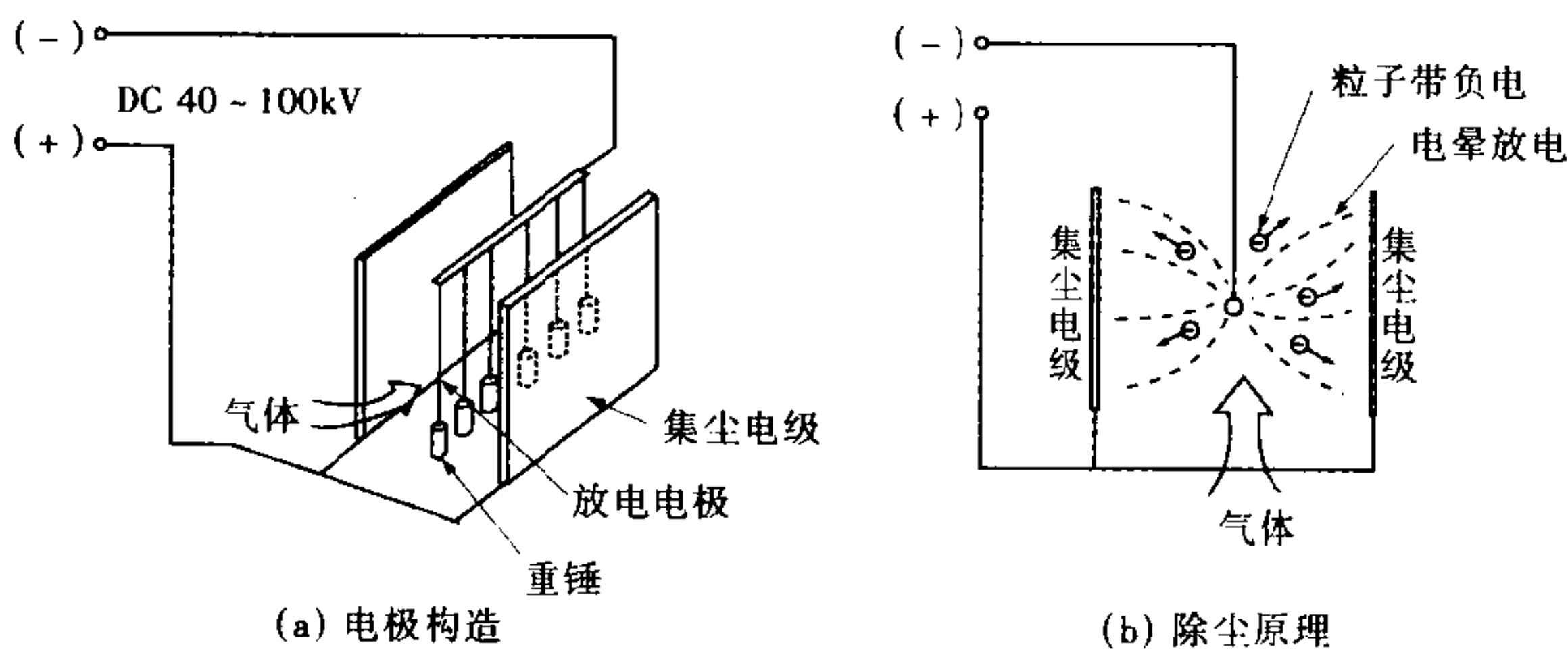


图 6.12 静电除尘器

在用平板、波纹板或金属网做的集尘电极间放置 2 ~ 6mm 钢丝的放电电极, 加上 40 ~ 100kV 的直流电压, 集尘电极为正, 放电电极为负。

通过集尘电极间的气体中的粒子, 由于电晕放电成为带负电的离子, 靠两电极间的电场产生的库仑力, 附着在集尘电极上。

附着在集尘电极上的微粒, 通过定期敲打集尘电极加以去

除。

静电除尘器从防止公害的立场，除了火力发电厂以外，还广泛应用于水泥工厂、高炉及垃圾焚烧厂等。

另外，将集尘电极与放电电极分开的这种结构的除尘器（参见图 6.13），可作为空气清洁剂用于医院、办公室及家庭等。

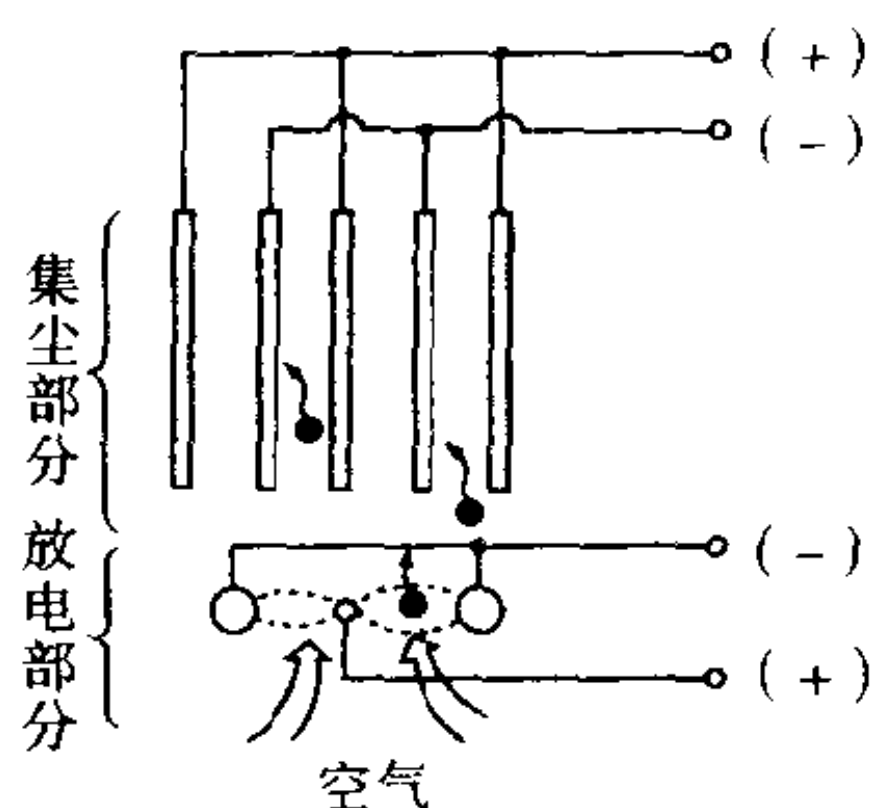


图 6.13 两段式除尘器

6.2.3 静电喷涂

静电喷涂是使涂料粒子带负电、利用库仑力对被喷涂面进行喷涂的方式（参见图 6.14）。

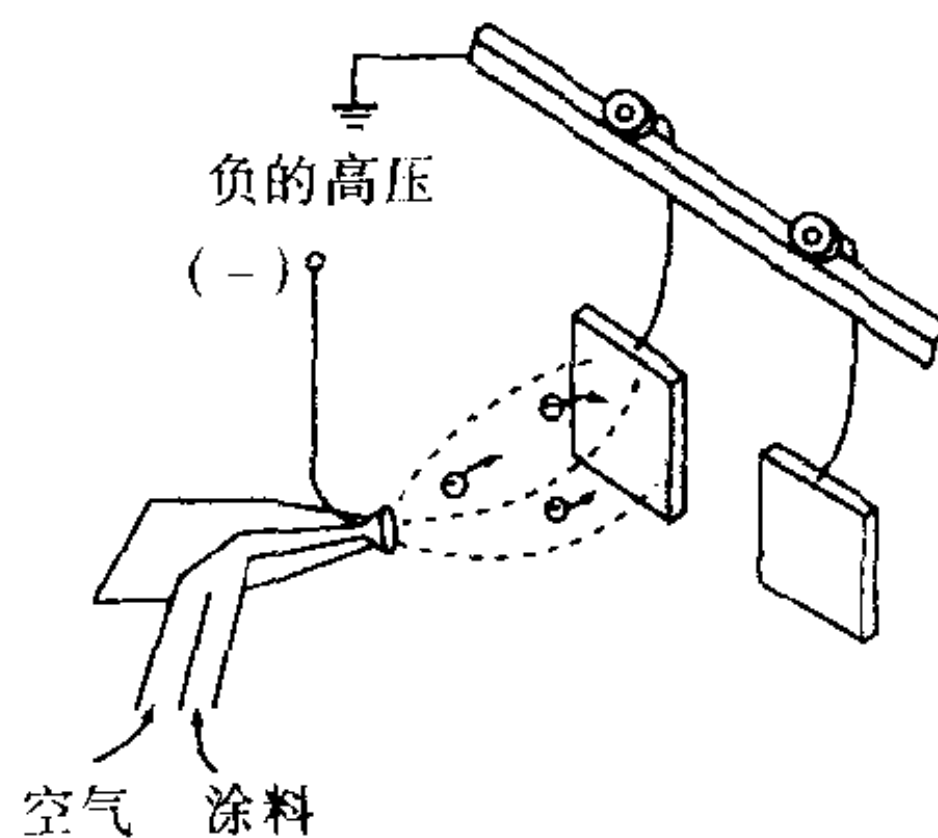


图 6.14 静电喷涂

与静电除尘器的情况相同，使喷枪为负，被喷涂物体为正，形成直流高电压的电场。

从喷枪飞散出的涂料微粒带负电，在库仑力的作用下，均匀附着在被喷涂物体表面而没有浪费。

静电喷涂的特征是喷涂的利用效率高，作业能够自动化，适合于批量生产等。

6.2.4 静电分选

静电分选是利用分选物质导电性的差别来进行分选的。如图 6.15(a) 所示, 分选物质从料斗落向金属滚筒。金属滚筒接地, 与高压电极之间加上强电场。

导电粒子一旦在电场中与滚筒接触, 则电荷通过滚筒产生移动 (参见图 6.15(b)), 使得导电粒子带有与高压电极相反极性的电荷, 它与滚筒互相排斥而向前方落下。

绝缘粒子在电场中仅仅产生极化 (参见图 6.15(c)), 与滚筒之间没有排斥力, 或者被滚筒吸住落在靠近滚筒的一边, 或者附着在滚筒上, 以后再用刮板刮下。这样就能够将导电粒子与绝缘粒子分开。

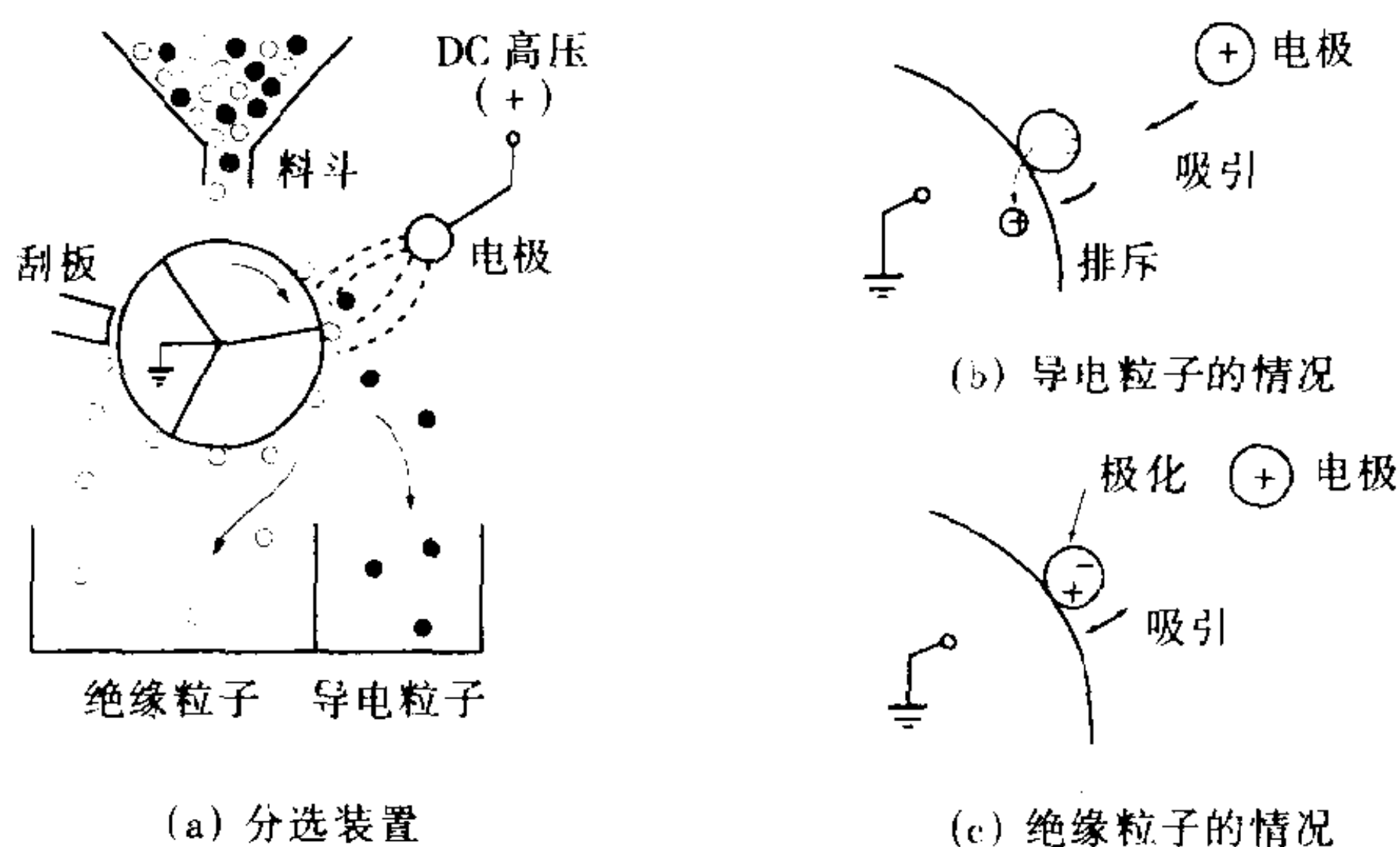


图 6.15 静电分选

这样就能够将导电粒子与绝缘粒子分开。

分选方式除了用强电场以外, 还有在滚筒与电极间利用电晕放电的方式, 以及同时采用强电场及电晕放电的方式。

静电分选可用于矿石精选、去除食品加工的异物、茶叶与木梗分离及从旧电线回收铜等。

6.2.5 静电记录

静电记录的方法, 是利用电晕放电使纸根据文字或图形带电, 再将色粉 (微细的树脂粉) 撒在带电处, 然后加热定影, 可应用

于电子摄影、复印机及传真机等。

图 6.16 为利用静电记录原理的复印机方式之一例。其动作如下所述：

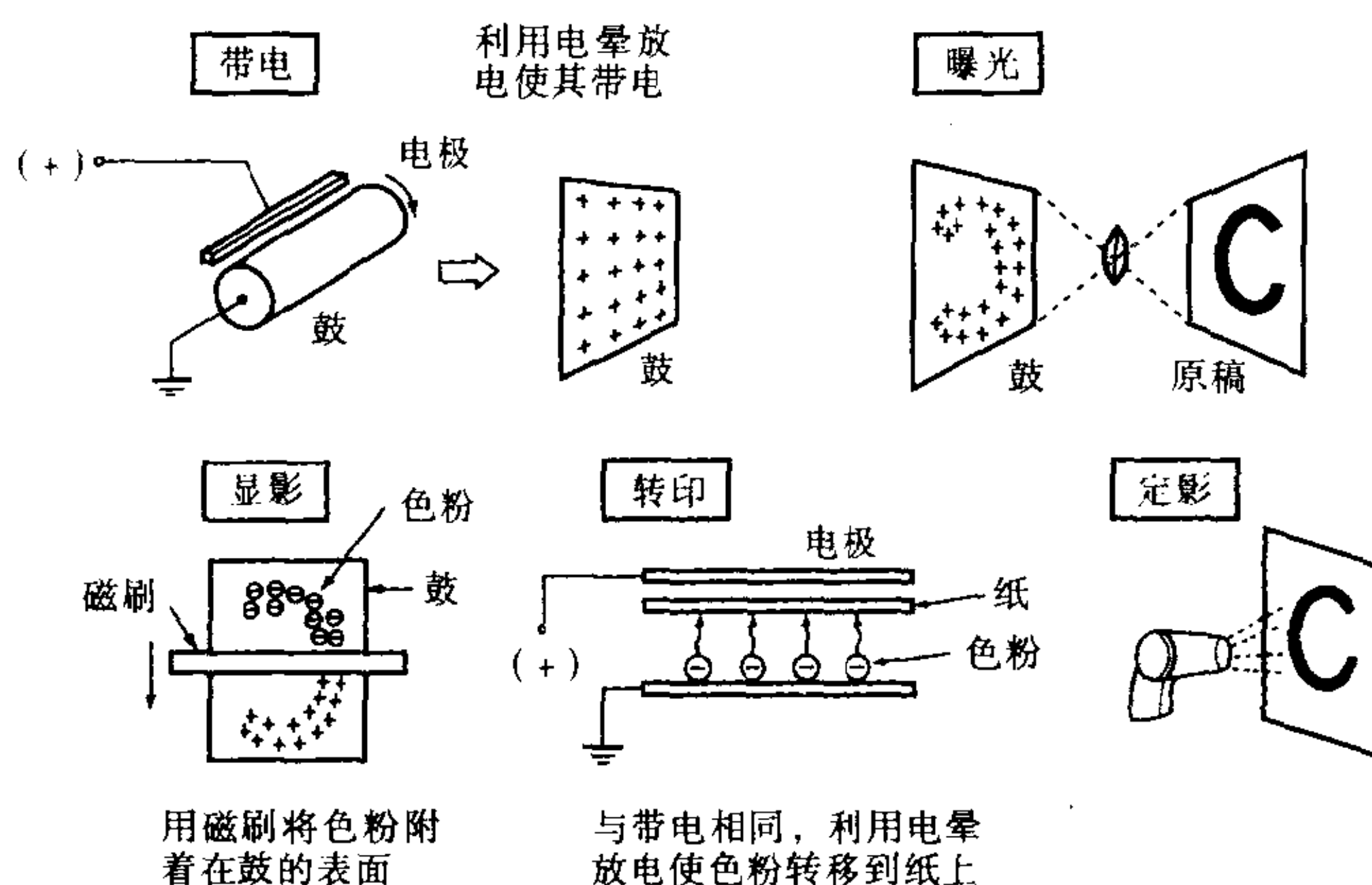


图 6.16 利用静电记录的复印机原理

① 利用电晕放电使硒或氧化锌制成的感光膜鼓带电。由于硒以 p 型光导体为主，因此带正电，而氧化锌为 n 型，因此带负电（带电）。

② 一旦将光线照射带电的鼓，则利用内部光电效应在表面产生正负载体，表面电荷被中和，因原稿有字的部分挡住光线，就形成相对于光线强弱的电荷分布（曝光）。

③ 用磁刷将色粉附着在鼓的表面上（显影）。

④ 将纸放在鼓上，利用与色粉带电极性相反的电晕放电，使色粉转移（转印）。

6.3 热 泵

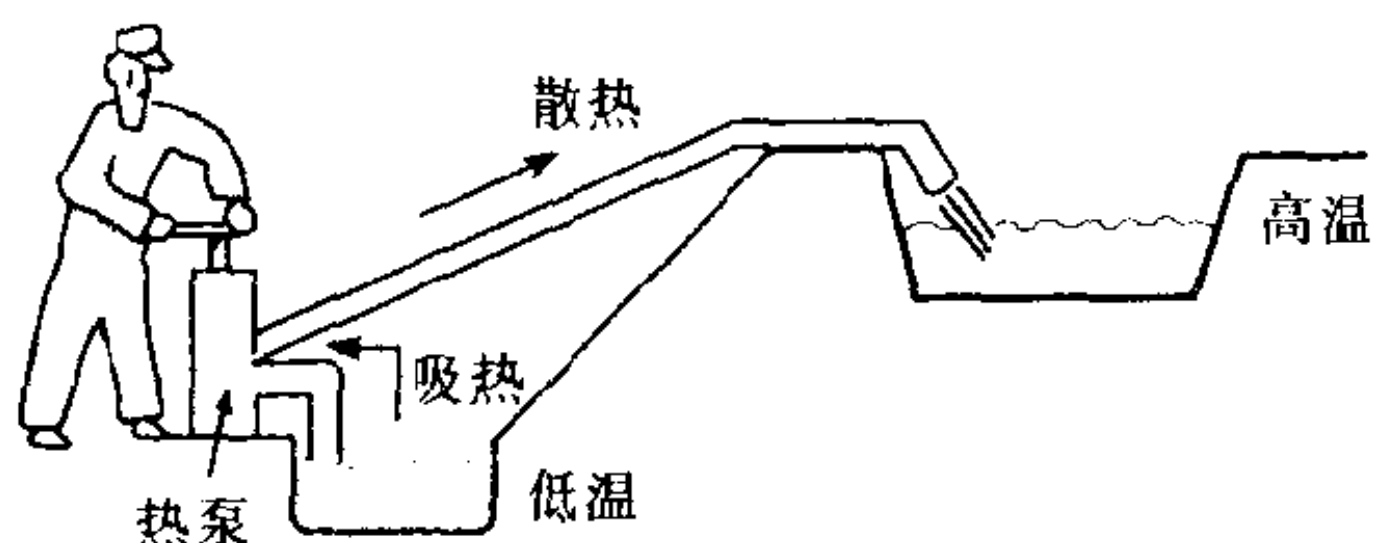


图 6.17 热泵

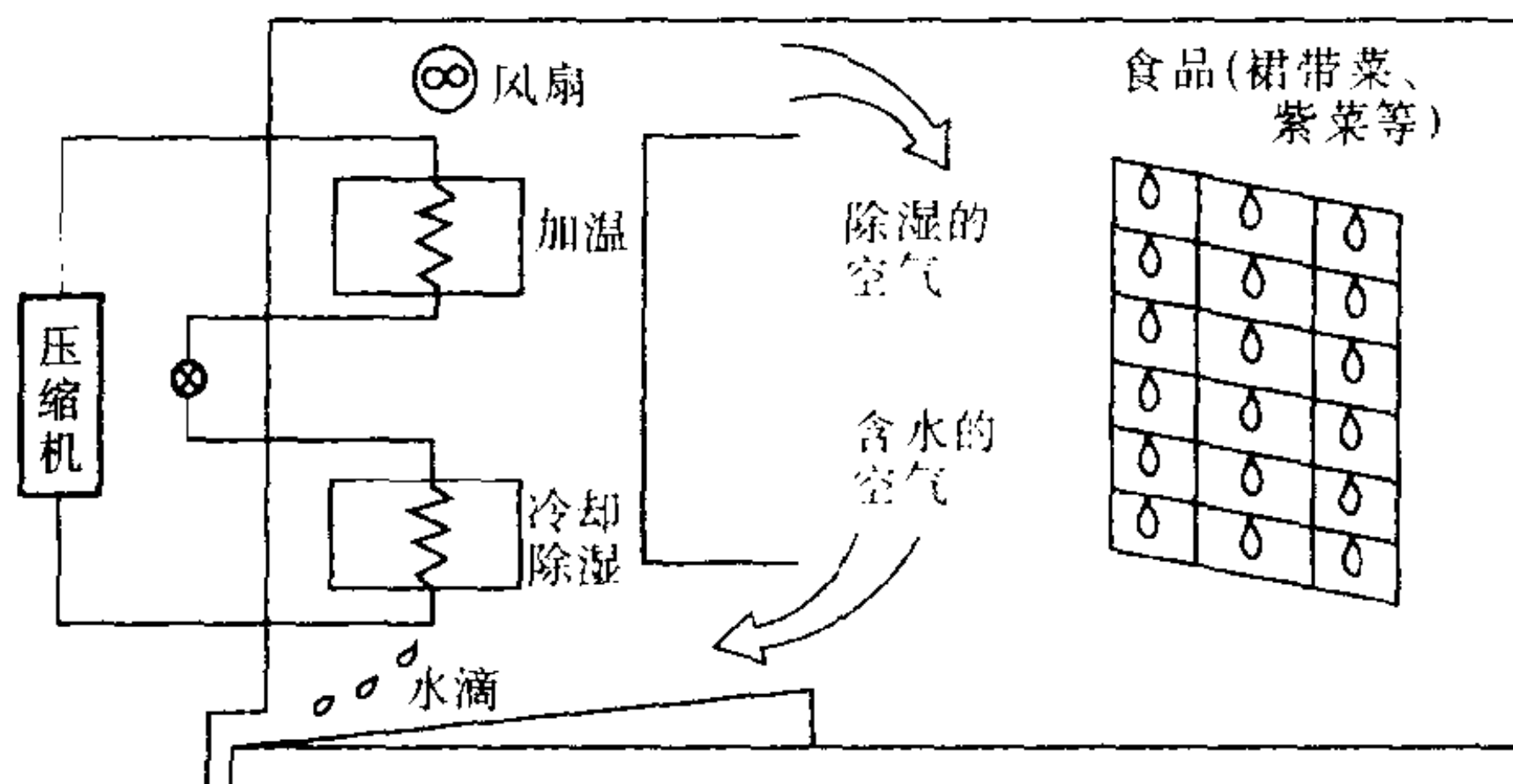


图 6.18 食品的低温干燥

6.3.1 热 泵

热从高温向低温传播，不能从低温向高温传播。热泵就像水泵将水从低的地方吸到高的地方那样，是将热从低温处吸到高温处的升温系统(参见图 6.17)。

一般，液体为了变成气体而蒸发，必须要气化热(潜热)，液体从周围夺取该热量变成气体。热泵是利用在常温下容易液化、蒸发热大的气体(制冷剂)当从液体变为气体时所伴随的潜热交换的装置。图 6.19 为热泵的原理图。

利用压缩机压缩的处于高温高压气体状态的制冷剂进入冷凝器，一面放出气化潜热，一面凝结液化。液化的制冷剂在膨胀阀进行膨胀，使温度及压力下降，进入蒸发器。制冷剂在蒸发器从周

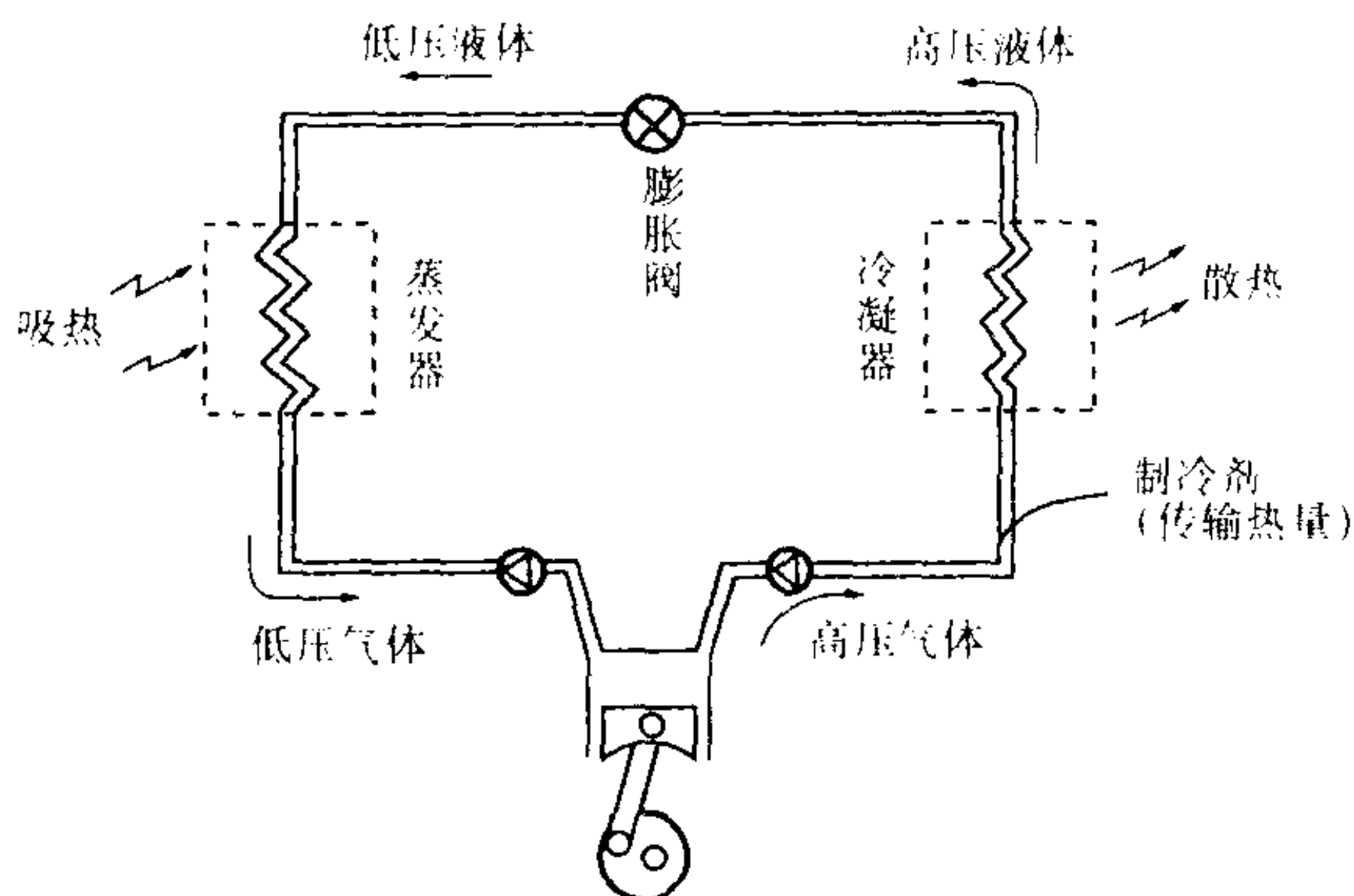


图 6.19 热泵的原理

围吸收热量而气化, 又返回到压缩机。然后, 重复该循环, 用冷凝器进行散热, 用蒸发器进行吸热。

制冷剂采用氟里昂系物质, 氟里昂系制冷剂破坏平流层的臭氧层, 使到达地表的有害的紫外线量增加, 使皮肤癌的发病率上升。另外, 对生态系统也产生恶劣影响, 因此正在设想代替它的制冷剂。热泵作为有效的能量利用系统, 可应用于家用空调及大楼用空调、冰箱、食品及木材干燥、果汁浓缩及从海水中提取淡水等。

6.3.2 热泵的应用

(a) 食品的低温干燥

若利用热泵进行低温除湿干燥来对食品等进行干燥, 则与采用锅炉等的热风干燥的方法相比, 产品的颜色、光泽、香味及营养素等的质量价值较高。

图 6.18 为低温干燥装置。它具有比热风干燥要经济、不用担心火灾、能够实现自动化等的优点, 可用于鱼、紫菜、柿饼、裙带菜及明胶等的干燥。

(b) 冰箱

冰箱的原理是冷冻循环, 与热泵相同(参见图 6.17)。

在图 6. 20 中，利用压缩机变成高温高压的制冷剂靠冷凝器液化而发热。液化的制冷剂由于 1m 左右长度、0.5 ~ 1mm 左右内径的毛细管的阻力，其压力下降，进入蒸发器。利用蒸发器中的制冷剂的气化热，使冰箱内制冷。

制冷剂采用氟里昂 12。氟里昂 12 若压力升高，则沸腾温度也升高，因此如图所示，用压力调节器分成两个蒸发器，利用压力的差别，能够使冷冻室及冷藏室得到两种温度。

以往的冰箱，在背面安装冷凝器，而最近的设计也比较漂亮，将冷凝器装在侧面或上面的内侧，使背面能够紧靠墙壁。

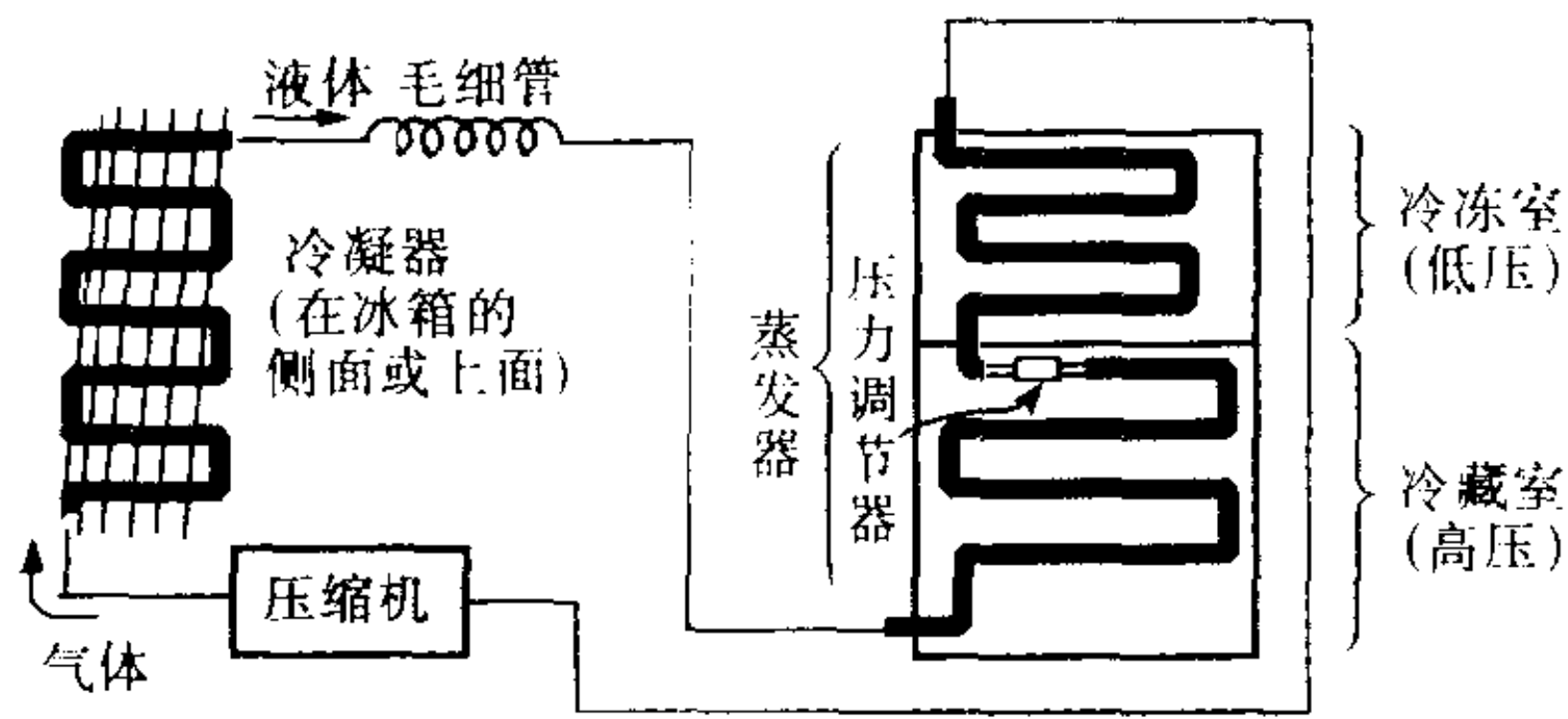


图 6. 20 冰箱的原理

(c) 冷暖气装置(室内空调器)

室内空调器是利用切换热泵的散热单元及吸热单元，并使得在夏天能放出冷气而在冬天能放出暖气的装置(参见图 6. 21)。

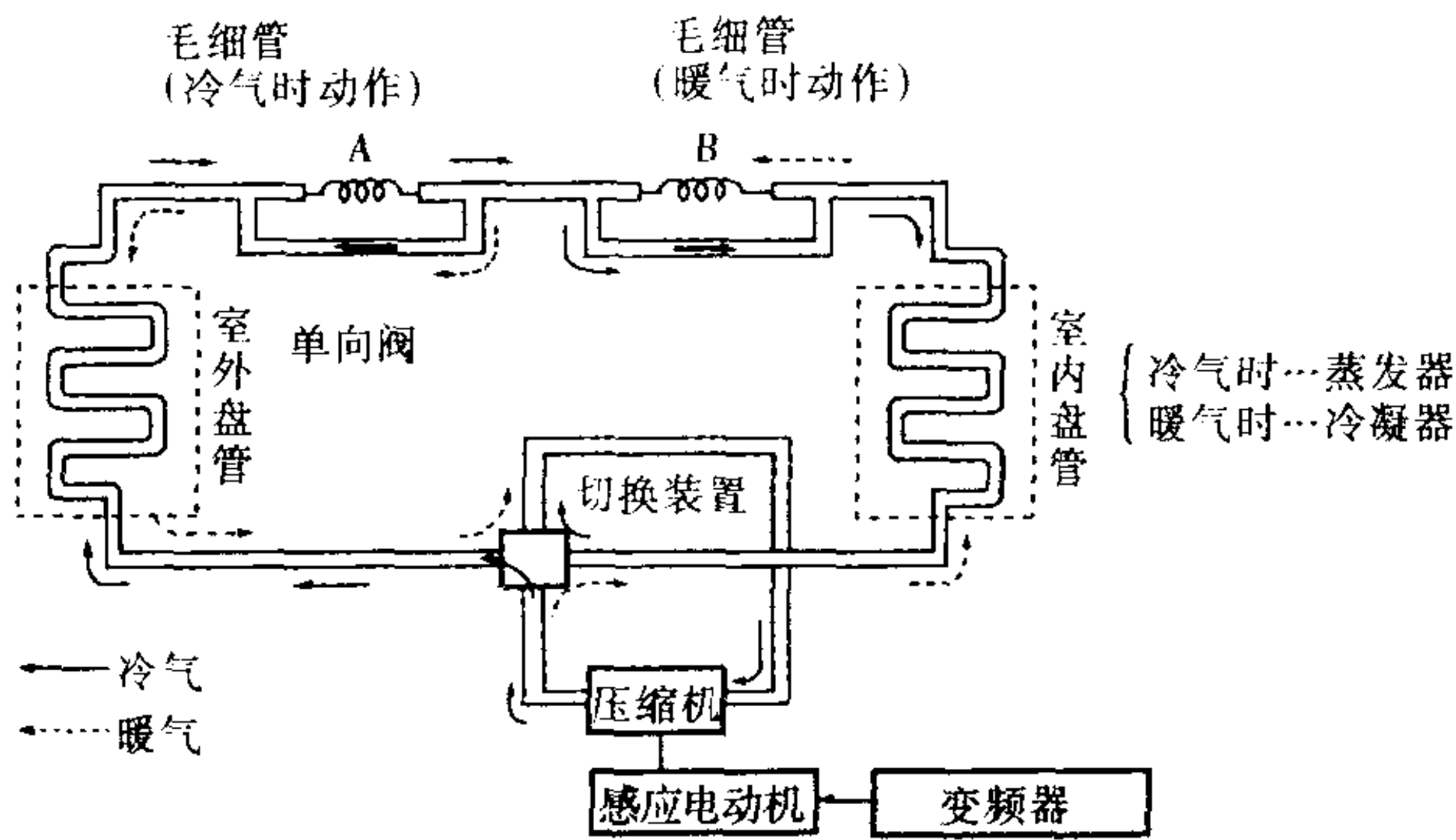


图 6. 21 室内空调器的原理

利用切换装置来切换制冷剂的流动方向,使得在夏天和冬天分别产生冷气和暖气。

在热泵方式的室内空调器中,有两根毛细管。在放冷气时,室内盘管成为蒸发器,利用毛细管 A 使压力降低,制冷剂进入室内盘管。在放暖气时,室内盘管成为冷凝器,利用毛细管 B 使压力降低,制冷剂进入室外盘管。这两个动作是利用单向阀来控制流向毛细管的制冷剂进行的。

制冷剂通常使用氟里昂 22,压缩机使用旋转式压缩机。

另外,正在普及一种变频空调器,它是通过改变加在压缩电动机上的交流频率来进行细微调速的

参 考 文 献

1. 照明学会編：ライティングハンドブック，オーム社（1987）
2. 電気学会編：新版 電気工学ハンドブック，電気学会（1988）
3. 原田勝正監修：サンレキシカシリーズ 41，新幹線の事典，三省堂（1987）
4. 加藤 亮監修：鉄道小事典，誠文堂新光社（1974）
5. 日本電熱協会編：エレクトロヒート応用ハンドブック，オーム社（1990）
6. 中路幸謙ほか：電気応用，電気学会（1969）
7. 中路幸謙：電熱工学，電気学会（1984）
8. 加藤一郎：制御工学，電気学会（1965）

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

S S号 = 1 0 9 5 9 4 9 9

书名 = 图解电力应用

页数 = 2 0 0

作者 = (日) 木村博司 , (日) 粉川昌已著 ; 程君实译

出版社 = 科学出版社

出版日期 = 2 0 0 0

封面
书名
前言

照明

- 1 . 1 辐射与光的发生
- 1 . 2 照明基础
- 1 . 3 白炽灯
- 1 . 4 放电灯
- 1 . 5 照明设计
- 1 . 6 照明实例

电热

- 2 . 1 电热计算
- 2 . 2 电阻加热
- 2 . 3 电弧加热
- 2 . 4 感应加热
- 2 . 5 电介质加热
- 2 . 6 其它加热方式
- 2 . 7 电焊

自动控制

- 3 . 1 各种自动控制
- 3 . 2 传递函数及框图
- 3 . 3 反馈控制系统的特性
- 3 . 4 继电器顺序控制
- 3 . 5 利用卡诺图简化逻辑式
- 3 . 6 顺序控制电路的设计
- 3 . 7 无触点顺序控制
- 3 . 8 顺序控制举例
- 3 . 9 计算机控制用零部件及装置
- 3 . 1 0 计算机控制 (1)
- 3 . 1 1 计算机控制 (2)

电化学

- 4 . 1 电化学的基础
- 4 . 2 一次电池 (原电池)
- 4 . 3 二次电池 (蓄电池)
- 4 . 4 燃料电池及太阳能电池
- 4 . 5 电解化学
- 4 . 6 电镀、电铸及电解研磨
- 4 . 7 电热化学

电气铁道

- 5 . 1 日本铁道的进展
- 5 . 2 铁道线路及车辆
- 5 . 3 供电方式及电车线
- 5 . 4 电力机车
- 5 . 5 信号与安全
- 5 . 6 新干线铁道

- 5 . 7 特殊铁道
 - 5 . 8 座位预约系统
- 各种电气应用
 - 6 . 1 超声波的产生及其应用
 - 6 . 2 静电现象的应用
 - 6 . 3 热泵

参考文献